

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**

С. В. Шаповал

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

з дисципліни

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

*(для студентів 2 курсу денної форми навчання
освітнього рівня «бакалавр»
спеціальності 185 – Нафтогазова інженерія та технології)*

Харків – ХНУМГ ім. О. М. Бекетова – 2017

Шаповал С. В. Конспект лекцій з дисципліни «Матеріалознавство» (для студентів 2 курсу денної форми навчання освітнього рівня «бакалавр» спеціальності 185 – Нафтогазова інженерія та технології) / С. В. Шаповал ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – 122 с.

Автор канд. техн. наук, доц. С. В. Шаповал

Рецензент канд. техн. наук, доц. А. А. Баранова

Рекомендовано кафедрою ТБВ та БМ, протокол № 9 від 01.04. 2016

ЗМІСТ

ВСТУП	5
ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1 МЕТАЛИ І СПЛАВИ, ЇХ БУДОВА ТА ВЛАСТИВОСТІ. ТЕРМІЧНА ОБРОБКА МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ	6
Тема 1 Вступ. Завдання курсу	6
1.1 Поняття про матеріалознавство, як науку, та її виникнення.	6
Роль вітчизняних та зарубіжних вчених у розвитку цієї науки	9
1.2 Умови роботи обладнання нафтогазової промисловості	11
1.3 Основні вимоги до труб в нафтогазовій галузі	11
Запитання для контролю знань	11
Тема 2 Характеристика основних груп властивостей металів	11
2.1 Основні поняття про метали і їх властивості	15
2.2 Властивості металів	16
2.3 Основні методи дослідження властивостей металів	18
2.4 Фізичні методи дослідження	19
2.5 Загальні відомості про вади будови металів	20
2.6 Вплив дефектів кристалічної решітки на властивість матеріалів	21
2.7 Походження дефектів	22
2.8 Прилади, які виявляють дефекти	22
2.9 Методи дослідження механічних властивостей металів	25
Запитання для контролю знань	26
Тема 3 Плавлення металів. Механізм кристалізації металів	26
3.1 Поняття про сплави і методи їх отримання	27
3.2 Особливості будови, кристалізації сплавів: механічних сумішей, твердих розчинів, хімічних сполук	28
3.3 Класифікація сплавів твердих розчинів	29
3.4 Кристалізація сплавів	31
3.5 Будова металевого злитку	33
Запитання для контролю знань	34
Тема 4 Залізвуглецеві сплави	34
4.1 Діаграма стану системи	35
4.2 Компоненти, фази та структурні складові залізвуглецевих сплавів	38
4.3 Характерні лінії діаграми	38
4.4 Характерні точки діаграми	39
Запитання для контролю знань	40
Тема 5 Леговані сталі та сплави	40
5.1 Маркування легованих сталей	41
5.2 Класифікація легованих сталей	42
5.3 Використання легованих сталей	43
Запитання для контролю знань	44
Тема 6 Чавуни	44
6.1 Види чавунів	44
6.1.1 Білий чавун	45
6.1.2 Машинобудівні чавуни	45
6.1.3 Чавуни з пластинчастим графітом	45
6.1.4 Чавуни з кулястим графітом	46
6.1.5 Чавуни з вермикулярним графітом	46
6.1.6 Ковкі чавуни	46
Запитання для контролю знань	47
Тема 7 Кольорові метали і сплави	47
7.1 Мідь та основні сплави на її основі	47
7.1.1 Латуні	48
7.1.2 Бронзи	49
7.2 Алюмінієві сплави	49
7.2.1 Класифікація і маркування алюмінієвих сплавів	50
7.2.2 Маркування алюмінієвих сплавів	50
7.2.3 Деформовні алюмінієві сплави	52
7.2.4 Жароміцні сплави алюмінію	52
7.2.5 Ливарні алюмінієві сплави	53
7.2.6 Спечені алюмінієві сплави типу САП і САС	54
7.2.7 Надлегкі алюміній-літєві сплави	55
Запитання для контролю знань	

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2 КОНСТРУКЦІЙНІ СТАЛІ І СПЛАВИ	56
Тема 8 Класифікація конструкційних матеріалів	56
8.1 Розвиток конструкційних матеріалів	56
8.2 Класифікація конструкційних матеріалів	56
8.3 Металеві конструкційні матеріали	57
8.4 Неметалеві конструкційні матеріали	57
8.4.1 Полімерні композиційні матеріали	58
8.4.2 Скло, кераміка	58
8.4.3 Гума	58
8.4.4 Деревина	60
8.5 Композиційні конструкційні матеріали	62
Запитання для контролю знань	64
Тема 9 Матеріали із особливими технічними властивостями	65
9.1 Жаростійкі та жароміцні матеріали	65
9.2 Тугоплавкі матеріали	67
9.3 Електротехнічна сталь	67
9.4 Сплави, що володіють пам'яттю форми	71
9.5 Антифрикційні матеріали	72
9.6 Аморфні металічні сплави	74
9.6.1 Історія відкриття металевих стекол	74
9.6.2 Структура аморфного стану	75
9.6.3 Кристалізація аморфних металевих сплавів	75
Запитання для контролю знань	78
Тема 10 Порошкові матеріали	78
10.1 Класифікація порошкових матеріалів	78
10.2 Технологія порошкової металургії	79
10.3 Способи виготовлення порошків	80
10.4 Методи контролю властивостей порошків	81
10.5 Пресування металевих порошків	81
10.6 Технологічні режими спікання порошків	81
10.7 Застосування порошкових матеріалів	82
Запитання для контролю знань	82
Тема 11 Корозія металів	83
11.1 Хімічна корозія	83
11.2 Електрохімічна корозія	84
11.3 Біокорозія	86
11.4 Засоби захисту від корозії	86
Запитання для контролю знань	88
Тема 12 Поняття про металургію	88
12.1 Виробництво агломерату	90
12.2 Виробництво коксу	90
12.3 Виробництво чавуну	91
12.4 Виробництво сталі	95
12.4.1 Мартенівський спосіб отримання сталі	96
12.4.2 Конверторний спосіб	97
12.4.3 Електрична плавка	98
Запитання для контролю знань	100
Тема 13 Ливарне виробництво та його значення для народного господарства	101
13.1 Основи виробництва відливок. Ливарні властивості сплавів	102
13.1.1 Сировина	103
13.1.2 Способи виготовлення відливок. Класифікація та характеристика різновидностей ливарних форм	103
13.1.3 Характеристика способів лиття	104
13.1.4 Технологія ливарного виробництва	104
13.2 Поняття про обробку металів тиском та його значення у народному господарстві	105
13.2.1 Поняття про пластичну деформацію металів та її вплив на структуру і властивості оброблювального металу	105
13.2.2 Характеристика основних видів обробки металів тиском	106
13.2.3 Температурний інтервал гарячої обробки металу тиском	107
Запитання для контролю знань	107
Тема 14 Основи технології і організації виробництва металевих виробів	108
14.1 Виробництво металовиробів прокаткою	108
14.2 Технологічна схема виробництва металевих конструкцій	110
14.3 Технологія виготовлення алюмінієвих конструкцій	118
Запитання для контролю знань	120
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ	121

ВСТУП

Різноманітні умови роботи інструментів, машин, апаратів і споруд, що застосовуються в нафтовій, нафтохімічній і газовій промисловості, викликають необхідність раціонального вибору матеріалів або створення нових типів сплавів і неметалічних матеріалів для особливих умов роботи деталей і споруд.

Більшість деталей газо- і нафтопромислового обладнання та інструменту працюють у вкрай важких умовах, піддаючись значним динамічним навантаженням, інтенсивному абразивному зношуванню і корозії. Устаткування нафтохімічних і нафтопереробних заводів відчуває вплив високих температур, високого тиску, високо-корозійного робочого середовища, агресивність якого ще більше зростає при одночасному впливі високих температур і тиску. Важкі умови роботи обладнання та інструменту нафтової, нафтохімічної і газової промисловості призводять до передчасного зносу і руйнування основних деталей цього обладнання.

Недостатня довговічність обладнання викликає необхідність знижувати навантаження на окремі вузли і деталі, збільшувати їх вагу і габарити, призводить до значних витрат на виготовлення запасних деталей і ремонт обладнання.

Невеликий термін служби обладнання та інструменту знижує темпи зростання механізації та автоматизації буріння видобутку і переробки нафти і газу, стримує підвищення продуктивності праці і зниження собівартості. Підвищення довговічності деталей обладнання та інструменту в значній мірі може бути досягнуто правильним вибором матеріалу для їх виготовлення і раціональним технологічним процесом їх обробки.

Основними завданнями вивчення дисципліни «Матеріалознавство» є

- вивчити фізико-механічні властивості сплавів чорних і кольорових металів і оволодіти методами їх визначення;
- вказати галузі застосування металів, сплавів на їх основі та композиційних матеріалів;
- показати закономірності поведінки матеріалів у звичайних і особливих умовах;
- надати технологічні основи виробництва матеріалів і їх обробки;
- показати основи конструювання на основі взаємозв'язку складу, будови, властивостей різних матеріалів.

Особливу увагу приділено вуглецевій та легованій конструкційній сталі, сталі з особливими фізичними та хімічними властивостями, а також сталі, яка застосовується для виготовлення бурових доліт, бурильних і обсадних труб, штанг тощо.

Крім того, дані короткі відомості про будову і властивості чавуну, деяких твердих сплавів та виробів, виготовлених методами порошкової металургії, а також про низку кольорових металів і їх сплавів.

При розгляді всіх цих питань основна увага приділяється специфічним вимогам, які пред'являються до своєрідних умов роботи деталей в нафтовій, нафтохімічній і газовій промисловості.

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1 МЕТАЛИ І СПЛАВИ, ЇХ БУДОВА ТА ВЛАСТИВОСТІ. ТЕРМІЧНА ОБРОБКА МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ

ТЕМА 1 ВСТУП. ЗАВДАННЯ КУРСУ

1.1 Поняття про матеріалознавство, як науку, та її виникнення.

Роль вітчизняних та зарубіжних вчених у розвитку цієї науки

Матеріалознавство – наука, що встановлює зв'язок між складом, структурою та властивостями металів і сплавів та вивчає закономірності їх змін при теплових, хімічних, механічних впливах. Матеріалознавство є основою для вивчення багатьох спеціальних дисциплін. Серед механічних властивостей міцність займає особливе місце, оскільки перш за все від неї залежить цілісність виробів під впливом експлуатаційних навантажень. Вчення про міцність і руйнування є однією з найважливіших складових частин матеріалознавства. Воно є теоретичною основою для вибору відповідних конструкційних матеріалів для деталей різного цільового призначення і пошуку раціональних способів формування в них необхідних властивостей, для забезпечення надійності і довговічності виробів.

Феномен відкриття металів мав визначальний вплив на життя людського суспільства, розмежувавши його розвиток на «доісторичну» (кам'яна доба) та «історичну» епохи. Видобуток руд забезпечив людство принципово новими матеріалами, які мали невідомі раніше властивості (ковкість, плавкість) та важливі переваги (здатність до зміни форми, висока міцність, експлуатаційна довговічність). Це дозволило не тільки ефективно вдосконалювати наявні знаряддя, але й створювати їх численні нові типи, що відкрило можливості для технічного прогресу. До 70-х років XIX ст. були досягнуті істотні успіхи у розробці наукових основ металургії. Зростання виробництва і застосування металевих сплавів поставив перед наукою важливі практичні задачі: зменшення вигорання металу в процесі плавки, необхідність заміни деревного вугілля мінеральним паливом, вишукування раціональних способів переробки бідних руд, підвищення механічних властивостей металів і сплавів і багато хто інші.

Наукові основи металургії почали складатися ще в XVIII ст., спочатку вони базувалися на аналізі та узагальненні розрізнених емпіричних знань про метали і сплави, їх отримання, властивості, обробку. Потім емпіричні знання стали пов'язувати з законами фізики, хімії та інших наук. Початок розробки теоретичних основ вчення про метали було покладено працями французького природознавця Р. Реомюра, великого російського вченого М. В. Ломоносова, французького хіміка А. Лавуазьє та їхніх сучасників.

У розробці теорії металургійних процесів в XIX ст. важко переоцінити значення праць Ж. Нруста (закон сталості складу хімічних сполук), І. Ріхтера (закон еквівалентів), Д. Дальтона (закон простих кратних відносин), а також робіт К. Бертолле, І. Берцеліуса і багатьох інших видатних

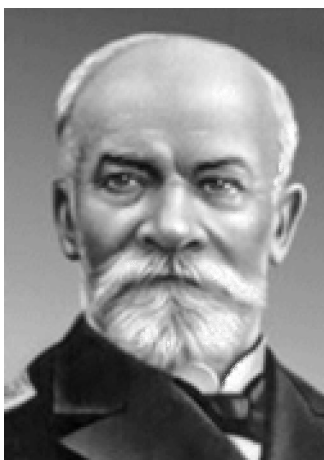
хіміків. Ґрунтуючись на своїх дослідженнях попередників і сучасників, французькі хіміки Ж. Гей-Люссак і Л. Тенард встановили існування трьох основних оксидів заліза. Велику роль у розвиток наукової металургії відіграло відкриття німецьким вченим Е. Митчерлихом явища ізоморфізму.

Досить плідними для розвитку теоретичної металургії були роботи С. Карно, Д. Джоуля, Р. Майора та інших фізиків, що зробили великий внесок у розробку вчення про теплоту. На основі цих робіт була встановлена методика дослідження ендо- та екзотермічних реакцій, що має найважливіше значення при розробці енергетичного балансу технологічних процесів у металургії.

Вперше існування зв'язку між будовою сталі та її властивостями було встановлене П. П. Аносовим (1799 – 1839). Найбільш значні досягнення Аносова П. П. у галузі металургії: на початку 1840-х років у Златоусті він отримав булатний візерунок – литу булатну сталь, з якої були створені клинки, що анітрохи не поступаються за своїми властивостями класичної зброї Стародавньої Індії. П. П. Аносов став першим металургом, який почав планомірне вивчення впливу на сталь різних елементів. Він досліджував добавки золота, платини, марганцю, хрому, алюмінію, титану та інших елементів і першим довів, що фізико-хімічні та механічні властивості стали можуть бути значно змінені і поліпшені добавками деяких легуючих елементів. Аносов заклав основи металургії легованих сталей.



*Рисунок 1.1 –
Аносів П. П.*



*Рисунок 1.2 –
Чернов Д. К.*



*Рисунок 1.3 –
Курнаков М. С.*

Основи наукового матеріалознавства були закладені відомим російським металургом Д. К. Черновим (1839 – 1921) та розвинуті Н. С. Курнаковим.

У 1866 – 1868 роках в результаті практичного вивчення причин браку при виготовленні гарматних поковок, а також глибокого аналізу робіт своїх попередників П. П. Аносова, П. М. Обухова, А. С. Лаврова і М. В. Калакуцького з питань виплавки, розливання і кування сталевих злитків Чернов Д. К. встановив залежність структури і властивостей сталі від її гарячої механічної і термічної обробки. Чернов Д. К. відкрив критичні температури, при яких в сталі в

результаті її нагрівання або охолодження в твердому стані відбуваються фазові перетворення, що істотно змінюють структуру і властивості металу. Ці критичні температури були названі точками Чернова. Велике значення для прогресу металургії сталі мали праці Чернова в області інтенсифікації металургійних процесів і вдосконалення техніки виробництва.

Як хімік, М. С. Курнаков відомий створенням методів фізико-хімічного аналізу речовин, особливо розчинів солей та сплавів.

Створена Курнаковим М. С. діаграма «склад – властивості» однозначно полегшила роботу хіміків з аналізу металевих сплавів, розчинів солей, кислот у воді.

Значний вклад у розвиток матеріалознавства внесли наукові роботи відомих вчених Осмонда (Франція), Юм-Розери та Н. Мотта (Англія), Ф. Зейтца, Е. Бейна і Р. Мейла (США), Таммана і Ганемана (Німеччина) та ін.

У 1888 р. французький вчений Ф. Осмонд, використавши термоелектричний термометр А. Ле Шательє, з великою точністю виміряв температури, що характеризують початок поліморфних перетворень у сталі. У подальшому Осмонд описав характер цих перетворень і присвоїв назви основним структурам залізовуглецевих сплавів. Визначення атомної будови фаз стало можливим після відкриття Макс фон Лауе (1912 р.), який довів, що атоми у кристалі регулярно заповнюють простір, утворюючи просторові дифракційні решітки, і що рентгенівські промені мають хвилову природу. Дифракція рентгенівських променів на таких решітках дає можливість досліджувати будову кристалів.

Останнім часом для структурного аналізу окрім рентгенівських променів використовують також електрони і нейтрони. Відповідні методи дослідження називаються електронною графією і нейтронною графією. Електронна оптика дозволила удосконалити мікроскопію. У даний час на електронних мікроскопах корисне максимальне збільшення доведено до 100000 разів.

У п'ятидесятих роках, коли почалося дослідження природи властивостей металевих матеріалів, було доведено, що більшість найважливіших властивостей, зокрема опір пластичній деформації і руйнуванню у різних умовах вантаження, залежать від особливостей тонкої кристалічної будови. Цей висновок сприяв залученню фізичних теорій про будову реальних металів для пояснення багатьох незрозумілих явищ і для конструювання сплавів із заданими механічними властивостями. Завдяки теорії дислокацій вдалося отримати достовірні відомості про зміни в металах за їх пластичних деформацій. Особливо інтенсивно розвивається металознавство останнім часом. Це пояснюється потребою в нових матеріалах для дослідження космосу, розвитку електроніки, атомної енергетики, нафтогазовидобувної галузі.

Основними напрямками в розвитку металознавства є розробка способів виробництва чистих і надчистих металів, властивості яких значною мірою відрізняються від властивостей металів технічної чистоти, з яких переважно виготовляють вироби. Головним завданням матеріалознавства є створення

матеріалів із заздалегідь розрахованими властивостями стосовно заданих параметрів і умов роботи. Велика увага приділяється вивченню металів у екстремальних умовах (низькі і високі температури, тиск).

До теперішнього часу основною матеріальною базою машинобудування була чорна металургія, що застосовує сталі і чавуни. Ці матеріали мають багато позитивних якостей і, в першу чергу, забезпечують високу конструкційну міцність деталей машин. Проте ці класичні матеріали мають такі недоліки як велика щільність, низька корозійна стійкість. Втрати від корозії складають 20 % річного виробництва сталі і чавуну. Тому, за даними наукових досліджень, через 20-40 років усі розвинені країни перебудуються на масове використання металевих сплавів на базі титану, магнію, алюмінію. Ці легкі і міцні сплави дозволяють у 2-3 рази полегшити верстати і машини, в 10 разів зменшити витрати на їх ремонт.

За даними інституту імені А. Н. Байкова, в нашій країні є всі умови для того, щоб протягом 10-15 років машинобудування могло перейти на випуск алюмінієво-титанової рухомої техніки, яка відрізняється легкістю, корозійною стійкістю і великим безремонтним ресурсом.

У даний час наука «металознавство» пішла далеко вперед. Українськими вченими розроблено понад дві тисячі різних сплавів. У НАН України працює декілька десятків науково-дослідних інститутів, які займаються металознавством (інститути: проблем металознавства; надтвердих матеріалів; проблем міцності; проблем лиття; зварювання ім. Е. О. Патона; фізико-технічний тощо). Крім цього є багато науково-дослідних галузевих інститутів, які займаються проблемами металознавства. У даний час технічну науку творять не самотні вчені, а цілі колективи. Серед сучасних вітчизняних вчених-металознавців можна назвати: Б. Е. Патон, Д. А. Дутко, Б. І. Медовар, Б. А. Мовчан, А. К. Лебедєв, Н. Т. Францевич, Г. К. Писаренко та ін.

1.2 Умови роботи обладнання нафтогазової промисловості

У технологічних системах буріння свердловин, видобутку, збору, підготовки, транспорту і зберігання нафти і газу використовують різноманітні види обладнання і споруд основного і допоміжного призначення, які у багатьох випадках достатньо технічно складні і металоємні. До найбільш відповідальних видів обладнання і споруд відносяться: підземне і наземне обладнання свердловин; наявність розгалуженої мережі промислових і магістральних трубопроводів; великогабаритні резервуари, ємності, технологічні апарати

В процесі експлуатації елементи зазначених видів устаткування і споруд піддаються:

- впливу електрохімічно-активних, хімічно активних, адсорбційно-активних і абсорбційно-активних середовищ;

- різним механічним впливам (статичні і циклічні навантаження, вібрації, сили тертя тощо);

- впливу негативної або підвищеної позитивної температури, стабільної або циклічно змінюваної в часі.

При зазначених видах зовнішніх впливів на поверхнях елементів обладнання і споруд розвиваються різноманітні процеси, що викликають порушення працездатності цих елементів:

- електрохімічна і хімічна корозія;
- корозійне і сорбційне розтріскування при статичних навантаженнях;
- корозійна та сорбційна втома при циклічних навантаженнях;
- механічне зношування (гідроабразивне, газоабразивне, кавітаційне тощо);
- корозійно-механічне зношування;
- адсорбція твердих відкладень.

Кавітаційне зношування (руйнування) — механічне зношування в умовах руху твердого тіла в рідині, під час якого бульбашки газу захоплюються поблизу поверхні, що призводить до створення локального високого ударного тиску чи високої температури.

Найбільш інтенсивному руйнуванню піддаються:

- колони труб у свердловинах (бурильні, обсадні, насосно-компресорні труби та з'єднувальні деталі);
- насосні агрегати;
- запірні і регулююча арматура;
- промислові та магістральні трубопроводи (труби, трубна арматура, запірні арматура, насоси, газоперекачувальні агрегати тощо);
- резервуари, ємності, технологічні апарати різного призначення.

Корозія є однією з головних проблем практично всіх галузей промисловості. За даними Міжнародної асоціації інженерів-корозіоністів (NACE, Х'юстон, США), у 2010 році світовий збиток від неї склав 2,2 трлн. доларів США, а Рада співробітництва арабських держав Перської затоки (GCC) оцінює збиток від корозії в країнах Близького Сходу в 58 млрд. доларів. Основна частина цього збитку припадає на сталеві труби – головний елемент систем транспортування нафти і нафтовмістовних флюїдів. Застосовувати корозійностійкі сплави для виготовлення труб занадто дорого, тому для продовження терміну служби і підтримки працездатності трубопроводів їх необхідно захищати від корозії. У нафтогазовій галузі в такому захисті потребують системи транспортування нафти та газу, нефтесбора, вилучення вугільного метану і підтримки пластового тиску.

1.3 Основні вимоги до труб в нафтогазовій галузі

Тиск і температура. У нафтогазовій галузі робочі тиску і температури, як правило, вище, ніж у водопостачанні, і можуть сильно відрізнятися на різних родовищах у залежності від застосовуваних методів видобутку і умов залягання нафти. На Близькому Сході температури транспортованих середовищ можуть змінюватися в діапазоні від 30 до 82 ° С, а робочий тиск – від 10 до 250 бар.

Проникність. Поліетилен є проникним матеріалом, і дифузія рідких вуглеводнів через стінку труби може викликати її набухання і зниження міцності. Однак випробування і досвід промислового застосування показують, що це зниження незначне і має зворотній характер. Втрати нафти за рахунок дифузії малі, і при надземному прокладанні трубопроводу будь-яка рідина, яка виступила на його поверхні, в умовах пустелі швидко випарується на сонці. При прокладанні нафто- або продуктопроводів у населених або природоохоронних зонах зазвичай використовують багатошарові поліетиленові труби з бар'єрними шарами із алюмінію або полімерних матеріалів, що запобігають дифузії вуглеводнів в навколишнє середовище.

Знання будови, фізичних та механічних властивостей матеріалів дозволить робити правильний вибір під час конструювання обладнання для нафтогазової промисловості.

Запитання для контролю знань

1. Назвіть основні напрями розвитку металознавства.
2. Перелічіть фактори, що впливають на вибір матеріалів для обладнання газовидобувної галузі.
3. Проаналізуйте умови роботи обладнання в газонафтовій промисловості.
4. Сформулюйте основні вимоги до матеріалів, з яких виробляють труби для газонафтової промисловості

ТЕМА 2 ХАРАКТЕРИСТИКА ОСНОВНИХ ГРУП ВЛАСТИВОСТЕЙ МЕТАЛІВ

2.1 Основні поняття про метали і їх властивості.

Більшість хімічних елементів є металами (приблизно 80 % елементів періодичної системи). Найпоширенішим хімічним елементом-металом у земній корі є алюміній. Доля інших металів загалом не перевищує 2,0 %. **Метали** – кристалічні речовини, характерними властивостями яких є висока міцність, пластичність, тепло- і електропровідність, особливий блиск. Широке використання металів у будівництві та інших галузях економіки пояснюється сполученням у них високих фізико-механічних властивостей із технологічністю. Міцність на розтяг металів практично така ж, як і на стиск. Так, міцність сталі більш ніж в 10...15 разів перевищує міцність бетону на стиск і в 100...200 разів на вигин і розтягання.

Незважаючи на унікальні механічні й технологічні характеристики, слід зазначити, що висока теплопровідність металів робить їх уразливими при дії вогню, отже металеві конструкції мають потребу в тепловій ізоляції. Великі збитки економіці завдає корозія металів.

Металеві сплави – це речовини, що утворилися в результаті затвердіння рідких розплавів, які складаються з двох або декількох компонентів. Сплави металів відіграють велику роль, оскільки зазвичай вони мають вищі функціональні (механічні, електричні тощо) і технологічні властивості, ніж їхні складові – чисті метали. Досить таки цікавим властивістю володіє такою металевий сплав, як нітінол. Він унікальний тим, що має ефект пам'яті і при нагріванні деформований виріб з цього сплаву здатне повертатися до своєї первозданної форми. Такі своєрідні матеріали з так званої пам'яттю застосовують для виготовлення втулок. Нітінол (англ. Nitinol, від англ. Nickel – нікель, англ. Titanium – титан) – сплав титану і нікелю, що характеризується високою корозійною і ерозійною стійкістю. Процентний вміст титану – 45 %, нікелю – 55 %, що відповідає формулі $TiNi$, тобто кількості атомів рівні. Вони мають властивість при низьких температурах стискатися, а при кімнатній температурі ці втулки розпрямляються і це з'єднання є навіть надійніше, ніж зварювання. А відбувається таке явище завдяки тому, що ці сплави мають структуру термопружності. Така поведінка пов'язана з тим, що, фактично, цей матеріал є не типовим сплавом, а інтерметалідах, і при загартуванню взаємне розташування атомів впорядковується, що призводить до запам'ятовування форми.

У таблиці 2.1 наведені фізичні й механічні властивості деяких металів.

Таблиця 2.1 – Фізичні й механічні властивості металів

Метал	Густина, кг/м ³	Межа міцності при розтягуванні, МПа	Температура плавлення, °С
Алюміній	2700	80	660
Вольфрам	19300	1100	3410
Залізо	7874	280	1539
Магній	1740	180	651
Марганець	7440	-	1245
Мідь	8960	220	1083
Нікель	8900	450	1453
Хром	7190	-	1903
Цинк	7130	80	420

У техніці найбільшого застосування набули залізо, алюміній, мідь, свинець, цинк, олово, нікель. Вони ще мають назву «технічні метали».

Всі метали (за винятком ртуті) мають кристалічну будову. Розташовані тим або іншим способом атоми утворюють елементарну комірку просторової ґратки (рис. 2.1). Тип ґратки залежить від хімічної природи і фазового стану металу. Тип кристалічної ґратки металу визначається формою того геометричного тіла, яке складає основу його елементарної комірки. Найпоширенішими типами

кристалічних ґраток металів є кубічна об'ємно центрована (ОЦК), кубічна гранецентрована (ГЦК) і гексагональна щільно-упакована (ГЦУ).

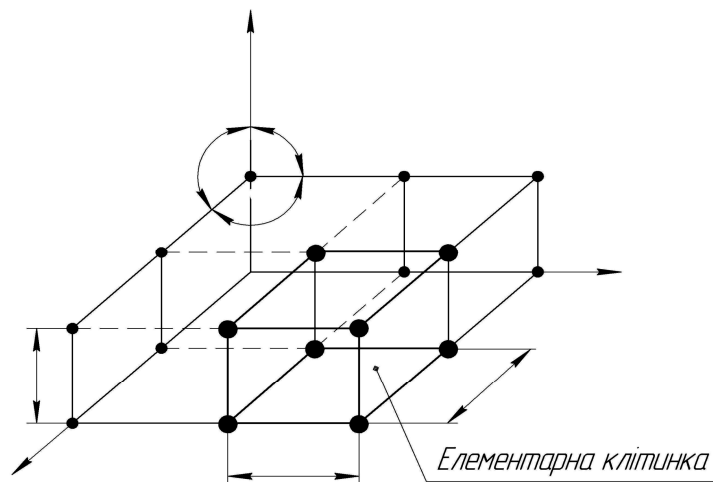


Рисунок 2.1 – Схема кристалічної ґратки

Елементарний осередок – елемент об'єму з мінімальним числом атомів, багаторазовим перенесенням якого в просторі можна побудувати весь кристал.

Елементарний осередок характеризує особливості будови кристала. Основними параметрами кристала є:

- розміри ребер елементарного осередку (a , b , c);
- відстані між центрами найближчих атомів;
- кути між вісями (α , β , γ);
- координаційне число (K) вказує на число атомів, розташованих на найближчій однаковій відстані від будь-якого атома в ґратах;
- щільність упаковки атомів у кристалічній решітці – об'єм, зайнятий атомами, які умовно розглядаються як жорсткі кулі. Її визначають як відношення об'єму, зайнятого атомами, до об'єму осередку (для об'ємноцентрованих кубічних ґрат – 0,68, для гранецентрованих кубічних ґрат – 0,74).

Класифікація можливих видів кристалічних решіток була проведена французьким вченим О. Браве; відповідно, вони отримали назву «Ґрати Браве».

Усього для кристалічних тіл існує чотирнадцять видів ґрат, розбитих на чотири типи:

- примітивний – вузли ґрат співпадають із вершинами елементарних осередків;
- базцентрований – атоми займають вершини осередків і два місця в протилежних гранях;
- об'ємно-центрований – атоми займають вершини осередків і їх центр;
- гранецентрований – атоми займають вершини осередків і центри всіх шести граней.

Як видно на рисунку 2.2, у обох типів кубічних ґраток по 8 атомів знаходиться у вершинах куба, а інші на перетині діагоналі – у ОЦК, або на перетині кожної грані, тобто в її центрі у ГЦК.

Комірка ґратки ГЦУ є призмою, основою якої є центровані одним атомом шестигранники. Всередині цієї комірки між основами знаходяться ще три атоми, створюючи рівносторонній трикутник.

Кристалічні ґратки металів незалежно від їх типу є щільно-упакованими. Це означає, що атоми, що знаходяться у вузлах, стикаються один з одним своїми зовнішніми оболонками.

ОЦК – ґратки мають залізо за звичайних температурних умов, хром, вольфрам, ванадій, молібден, калій, натрій.

ГЦК – ґратки мають нікель, мідь, алюміній, свинець, срібло, залізо при температурі 911 – 1392°C.

ГЦУ – ґратки мають магній, цинк, а так само кобальт, цирконій і титан при кімнатній температурі.

Залізо, хром, молібден, вольфрам і деяких інші метали мають елементарну комірку у вигляді куба із атомами у вершинах і додатковим – у центрі (об'ємноцентрована кубічна ґратка). За температури понад 910 °C у кристалічній структурі заліза відбувається перебудова, кількість атомів у елементарній комірці збільшується до 14. У результаті перебудови симетрія елементарної комірки змінюється – атоми розміщуються у вершинах куба й додатково в центрі кожної грані (гранецентрована кубічна ґратка). Існування одного металу в декількох кристалічних формах зветься поліморфізмом чи алотропією, а температура, за якої метал переходить з одного стану в інший, – температурою поліморфного перетворення. Залізо, наприклад, має дві температури поліморфного перетворення: 910 C і 1400 C. Цинк, магній, титан мають елементарну комірку в формі шестигранної призми. Як і залізо, олово, нікель, титан, кобальт та деякі інші метали зі зміною температури змінюють тип своїх ґраток. Наприклад, нікель може мати кубічну гранецентровану чи гексагональну ґратки, а кальцій – кубічну гранецентровану, гексагональну і кубічну об'ємноцентровану (рис. 2.2).

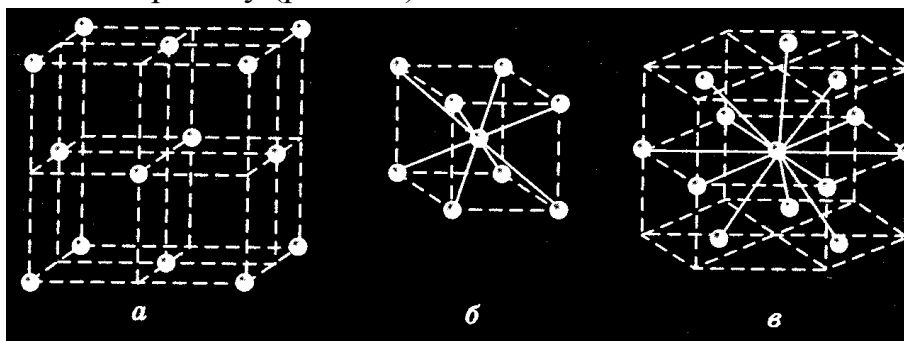


Рисунок 2.2 – Моделі кристалічних ґраток металів:
а - кубічна гранецентрована, б - кубічна об'ємноцентрована,
в – гексагональна

Елементарні комірки кожного даного кристала однаково орієнтовані в просторі; розташовуючись послідовно, вони мають спільні з сусідніми комірками атоми й утворюють разом просторову ґратку. Проте різні метали з ідентичною кристалічною ґраткою мають різні параметри, тобто відстані між сусідніми атомами. Параметр решітки (сторона куба або шестигранника) у міді 0,36 нм, в алюмінію 0,405 нм, у цинку 0,267 нм тощо.

У звичайних умовах кристали не можуть набути правильної форми тому, що їхній ріст обмежується суміжними кристалами. Кристали, що мають неправильні зовнішні обриси, називаються кристалітами або зернами. У вузлах кристалічної ґратки містяться іони металів. Валентні електрони дуже слабо зв'язані з атомами і можуть легко рухатися по всьому об'єму металу, переходячи від одних іонів до інших. Легкою рухливістю валентних електронів пояснюється висока електропровідність і теплопровідність металів.

2.2 Властивості металів

Метали мають електронну електропровідність. За електропровідністю і теплопровідністю метали розміщуються в однаковому порядку. Найкращими провідниками електричного струму є срібло, мідь, золото і алюміній. В окремих кристалах властивості (в основному механічні) різні в різних напрямках. Таку властивість кристалів називають анізотропністю. Анізотропність кристалів пояснюється особливостями розташування атомів у просторі.

Характерна особливість металів – металічний блиск, тобто здатність добре відбивати світло. Але ця здатність проявляється лише тоді, коли метал утворює суцільну і гладку (поліровану) поверхню.

Дуже важливою властивістю більшості металів є пластичність, тобто здатність змінювати зовнішню форму за дії сторонньої сили і зберігати набуту форму після припинення впливу зовнішньої дії. На цій здатності базуються різні способи механічної обробки металів: прокатка, кування, штамповка, волочіння тощо.

Однак ця властивість у різних металів виявляється неоднаково. Здатність розкатуватись у тоненькі листи і витягуватись у тоненький дріт найкраще виявляється у золота, срібла, міді, алюмінію і олова, трохи гірше в заліза і цинку. Деякі метали зовсім не виявляють пластичності, вони дуже крихкі — це бісмут, манган і особливо стибій (сурма). При ударі вони розпадаються на шматочки.

За густиною метали умовно поділяють на легкі (густина яких до 5 г/см^3) і важкі (густина яких понад 5 г/см^3). До найлегших металів належать літій, калій і натрій. Легкі метали – манган, алюміній і титан. Найважчими вважаються ртуть, золото, платина і осмій.

За твердістю метали теж дуже відрізняються один від одного. Найтвердішим металом є хром, який дряпає скло. За ним іде вольфрам, нікель

тощо. До найм'якших металів належать калій і натрій, які легко ріжуться ножом. Дуже м'яким є також свинець.

За температурами плавлення метали теж різко відрізняються один від одного. Найнижчу температуру плавлення має ртуть (-39°C), за нею йде цезій ($28,5^{\circ}\text{C}$), рубідій ($38,5^{\circ}\text{C}$), калій ($62,3^{\circ}\text{C}$), а найвищу – вольфрам (3410°C).

За забарвленням метали умовно поділяють на чорні – залізо, манган та їх численні сплави (чавун, сталь) і кольорові, до яких відносять усі інші метали. Відповідно до цього і промисловість, яка їх добуває, називають чорною і кольоровою металургією.

Манган (символ **Mn**, рос. *Марганець*) – хімічний елемент з атомним номером 25. Метал, який відповідає цьому елементу – марганець. Атомна маса *Мангану* 54.9381 а.о.м. Це сріблясто-білий крихкий метал.

Алотропія металів (або поліморфізм) – це властивість перебудовувати решітку при певних температурах у процесі нагрівання або охолодження. Алотропія властива всім елементам, які змінюють валентність при зміні температури (залізо, марганець, нікель, олово та ін.). Кожне алотропне перетворення проходить при температурі 1184 K , нижче від якої атоми складають решітку центрованого куба, а вище – решітку гранецентрованого куба. Структура, що має ту чи іншу решітку, називається алотропною формою або модифікацією. Різні модифікації позначаються грецькими буквами α , β , γ тощо. Алотропні перетворення супроводжуються віддачею (зменшенням) або поглинанням (збільшенням) енергії.

Деякі метали намагнічуються під дією магнітного поля. Після усунення магнітного поля вони володіють залишковим магнетизмом. Це явище вперше виявлене на залізі й отримало назву феромагнетизму. До феромагнетиків належать залізо, кобальт, нікель і деякі інші метали.

У разі нагріву феромагнітні властивості металу зменшуються поступово: спочатку слабо, потім різко і за відповідної температури (точка Кюрі для заліза -768°C) зникають. Вище за цю температуру метали стають парамагнетиками. Магнітні перетворення не пов'язані зі зміною кристалічної решітки або мікроструктури – вони обумовлені змінами в характері електронної взаємодії.

Всі ці властивості мають важливе значення при виборі металів для виготовлення того чи іншого виробу.

2.3 Основні методи дослідження властивостей металів

Новий рівень розвитку технічного процесу вимагає впровадження нових матеріалів і технологій. Концепції матеріалознавства і металознавства дозволили розвинути знання про метал і його будову, а також у разі підвищити його фізико-механічні властивості. На сьогоднішній день відомо понад три тисячі марок сталей, якість яких визначається різними методами. Найбільш важливою операцією з контролю якості є виявлення дефектів металу.

Виявлення дефектів відбувається за допомогою приладу, який носить назву дефектоскоп. Найбільш досконалим приладом цього типу є ультразвуковий дефектоскоп, який працює за принципом неруйнівного контролю.

Дослідження кристалічної структури матеріалу

Дефекти кристалічної будови металів являють собою відхилення структури від структури ідеального кристала (бездефектного кристала). Залежно від форми і розмірів виділяють такі типи дефектів кристалічної структури:

- дислокації – відсутність полуплоскості кристалічної решітки;
- вакансії – наявність пустот в вузлах кристалічної решітки;
- атоми впровадження – наявність в решітці додаткових атомів, розташованих між вузлами;
- атоми заміщення – у вузлах кристалічної решітки розташовуються атоми іншого елемента.

Субмікроскопічне дослідження

Субмікроскопічне дослідження проводиться з метою виявлення дефектів на кордонах кристалів або зерен. Даний дефект – це тонкі прошарки між блоками кристалів, утворені через нерівномірність кристалізації або нестачу рідкого розчину. Також причиною утворення даного дефекту може стати виділення на поверхні кристалів твердої фази нерозчинних сполук і елементів. Відомо, що фосфор і деякі тугоплавкі метали не утворюють сполук із залізом у сталях, тому виділяються на кордонах зерен. До субмікроскопічних дефектів відносять відколи у сталі 38Х2МЮА, легування сталі алюмінієм призводить до виділення по границях зерен локальних площин, які сколюються при подальшій прокатці.

Мікроаналіз

Мікроаналіз – це виявлення дефектів із використанням мікроскопів при збільшенні понад 100 разів. Це основний метод дослідження на виявлення дефектів ливарного походження. За допомогою мікроаналізу визначають бал зерна, наявність і кількість неметалічних включень, міді, сірки і фосфору, структури металу. Залежно від змісту в сталі вуглецю і легуючих елементів при кристалізації можливе виділення різних твердих фаз, що характеризуються різними значеннями міцності, твердості і пластичності. Найважливішим дослідженням мікроаналізу є виявлення процентного вмісту шкідливих домішок і неметалевих включень. У більшості випадків шкідливою домішкою є сірка і фосфор, що додають сталі ломкість. Для використання металу за призначенням, вміст сірки і фосфору повинні відповідати регламентованим діапазонам. Контроль неметалевих включень (НМВ) дозволяє визначити вміст у сталі оксидів, сульфідів, нітридів та інших з'єднань, які можуть здійснювати як позитивний, так і негативний вплив.

Макроаналіз

Макроаналіз – візуальний аналіз якості поверхні або зразків при збільшенні до 30 разів. Даний метод використовується для виявлення великих дефектів поверхні або глибинних шарів металу. На кожному виробничому етапі від виплавки і до зберігання можуть утворюватися макроскопічні дефекти. У більшості випадків наявність макроскопічних дефектів призводить до бракування металу або поверненню його на доопрацювання.

Для дослідження мікро- і макроструктури, а також визначення вад внутрішньої будови металів, використовують такі методи: макроаналіз, мікроаналіз, рентгеноструктурний аналіз, магнітна дефектоскопія, застосування радіоактивних ізотопів тощо. Для виявлення мікроструктури поверхню протравлюють реактивами, що залежать від складу сплаву. Різні фази протравлюються неоднаково і забарвлюються по-різному. Можна виявити форму, розміри й орієнтування зерен, окремі фази і структурні складові. Окрім світлових мікроскопів використовують електронні мікроскопи з великою роздільною здатністю. Зображення формується за допомогою швидкого потоку електронів. Електронні промені з довжиною хвилі $(0,04 - 0,12) \cdot 10^8$ см дають можливість розрізняти деталі об'єкту, що за своїми розмірами відповідають міжатомним відстаням.

Для вивчення атомно-кристалічної будови твердих тіл (тонка будова) використовуються *рентгенографічні методи*, що дозволяють встановлювати зв'язок між хімічним складом, структурою і властивостями тіла, тип твердих розчинів, мікронапруги, концентрацію дефектів, щільність дислокацій.

2.4 Фізичні методи дослідження

1. *Термічний аналіз* заснований на явищі теплового ефекту. Фазові перетворення в сплавах супроводжуються тепловим ефектом, у результаті на кривих охолодження сплавів до температури фазових перетворень спостерігаються точки перегину, або температурні зупинки. Даний метод дозволяє визначити критичні точки.

2. Дилатометричний метод.

У процесі нагрівання металів і сплавів відбувається зміна об'єму і лінійних розмірів – теплове розширення. Якщо зміни обумовлені тільки збільшенням енергії коливань атомів, то під час охолодження розміри відновлюються. За фазових перетворень зміни розмірів є незворотними.

Метод дозволяє визначити критичні точки сплавів, температурні інтервали існування фаз, а також вивчати процеси розпаду твердих розчинів.

2.5 Загальні відомості про вади будови металів

Реальні метали складаються з кристалів з певними вадами. Виділяють кілька груп дефектів: точкові, лінійні, двомірні, об'ємні та поверхневі дефекти.

Точкові дефекти

До *точкових дефектів* відносяться дефекти, пов'язані з одиничними атомами. Виділяють: вакансії, атоми заміщення і атоми впровадження. Пояснити, що означає кожен з цих видів простіше за допомогою схеми, зображених на рисунку 2.3. На малюнку під літерою «а» зображена структура ідеального кристала. На малюнку «б» можете бачити відсутність атома в одному з вузлів, в зв'язку з чим спостерігаються зміна положень найближчих атомів, такий вид дефекту називається вакансія. На малюнку «в» у вузлі атом одного елемента заміщений атомом іншого, такий вид деформації називається атомами заміщення. І на останньому малюнку зображений атом впровадження, який встановлюється між вузлами і тим самим створює зсув сусідніх атомів.

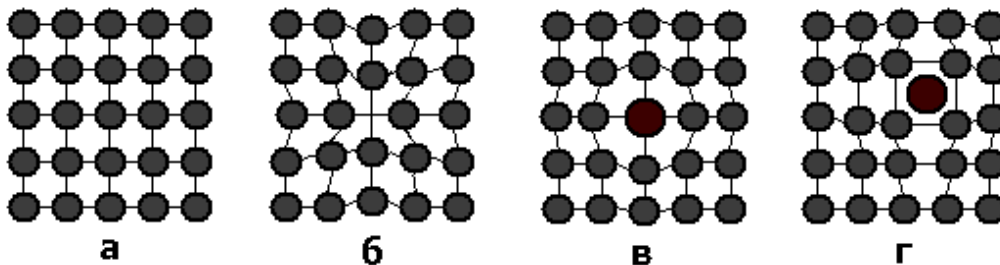


Рисунок 2.3 – Точкові дефекти: а – ідеальна решітка, б – вакансія, в – атом заміщення, г – атом впровадження

Лінійні дефекти

Лінійні дефекти по-іншому називають одновимірними. До лінійних відносяться дефекти, довжини яких в одному з напрямків значно більше ніж період решітки, а по інших напрямках величина дефекту порівнянна з періодом. У разі кубічної решітки період дорівнює відстані між сусідніми атомами. Прикладом лінійного дефекту є дислокація.

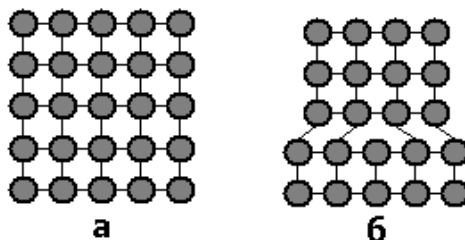


Рисунок 2.4 – Лінійний дефект – дислокація:
а – ідеальний кристал, б – дислокація

На малюнку зображено плоске уявлення дислокації, щоб зрозуміти чому цей дефект називається лінійним. У місці де обривається одна з півплощини утворюється «тунель» це і є дислокація.

Двовірні та об'ємні дефекти

За аналогією з лінійними дефектами двовірними називають дефекти, у яких у двох вимірах величина дефекту набагато більше ніж період ґратки, а в одному напрямку порівняна з ним. Об'ємні або тривірні дефекти мають величину набагато більше періоду ґратки в усіх напрямках (рис. 2.5).

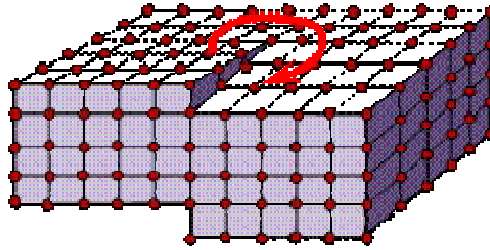


Рисунок 2.5 – Об'ємний дефект кристалічної ґратки

Поверхневі дефекти

Поверхня металу під мікроскопом являє собою окремі зерна – кристали, Решітка в кожному зерні має різну орієнтацію (рис. 2.6). Кут між кристалографічними площинами може бути значним. Кожне зерно в свою чергу складається з окремих ділянок – блоків. Кристалографічні площини суміжних блоків повернені на деякий кут від 1 до 20 хв. При переході від однієї кристалографічної решітки до іншого, кожна площина має перелом. Зазвичай, в прикордонних ділянках блоків, мають місце лінійні і точкові дефекти. Межі ж блоків являють собою поверхневі дефекти

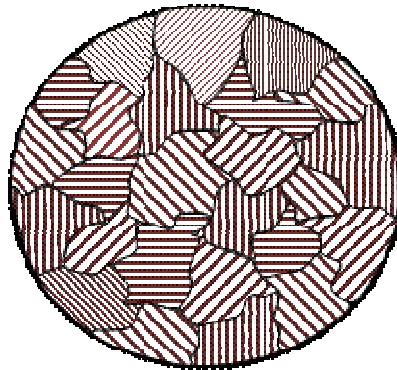


Рисунок 2.6 – Поверхні дефекти кристалічної ґратки

2.6 Вплив дефектів кристалічної решітки на властивість матеріалів

Дефекти впливають на властивості матеріалу. Але далеко не завжди цей вплив пов'язаний із втратою матеріалом потрібних характеристик. Часто кристалічну ґратку спеціально піддають змінам, щоб отримати спеціальні властивостей.

Точкові дефекти, такі як атоми впровадження і атоми заміщення, використовуються для так званого легування, тобто підмішування до складу матеріалу домішок інших елементів. Наприклад, при легуванні кремнію фосфором можна отримати напівпровідник. Для отримання якісної сталі з високими показниками довговічності залізо легують вуглецем і марганцем.

Лінійні дефекти дозволяють збільшувати міцність матеріалу, проте при цьому відбувається втрата пластичності, але іноді саме це і потрібно. Визначити величину дефектів простіше, порівнюючи властивості еталона і вимірюваного матеріалу, проте скупчення дефектів визначають вихрострумовим або ультразвуковим дефектоскопом. Важливо, що на сьогоднішній день більшість дефектів можна визначати і контролювати неруйнівним способом.

2.7 Походження дефектів

Насправді в будь-якому металі є дефекти. Неможливо створити абсолютно бездефектний зразок. Однак після деяких процесів кількість і величина дефектів може істотно збільшуватися.

Можна виділити процеси при яких часто виникають дефекти.

1. *Дефекти виникають при деформації твердого тіла.* Процес утворення дефектів при деформації невеликої величини йде не інтенсивно. Після зняття напруги, що викликає цю деформацію, тіло може прийняти початкову форму. Однак, якщо рівень деформації перевищує граничне значення, то кількість дефектів почне рости дуже швидко, що приведе до незворотного процесу пластичної деформації матеріалу. Викликана пластична деформація саме щільністю і величиною дефектів, які не дадуть зразку прийняти початкову форму.

2. *Дефекти обробки поверхні.* У процесі зняття стружки або шліфування матеріалу завжди виникають мікротріщини на поверхні об'єкту.

3. *Дефекти ливарного походження.* Дефектів цього типу існує дуже багато, наведемо кілька прикладів. Коли розплавлений метал заливають у форми і він починає остигати, то через нерівномірність охолодження деякі частини злитка застигають раніше, а інші пізніше, це створює зрушення шарів між собою. Крім того, у сплав можуть потрапити дрібні бульбашки повітря, через що утворюються пори.

4. *Дефекти прокатного виробництва.* Дефекти прокатного виробництва утворюються при порушенні технології прокатки і попереднього нагріву заготовки. Неправильний коефіцієнт обтиску або недостатній нагрів заготовки перед прокаткою може привести до появи на поверхні сталі вусів, волосовин, флокенів, тріщин, сколів, зім'ятих кінців і інших дефектів.

5. *Дефекти термообробки.* Дефекти термообробки утворюються при неправильному виборі термічного режиму або його недотриманні. Найбільш часто на етапі термообробки утворюються такі дефекти: перегрів (можна виправити повторним нагріванням), термічне утворення тріщин.

6. *Дефекти, що виникають при зберіганні, транспортуванні і складуванні.* Під час перевезення або зберігання метал може бути деформований – погнутий, зам'ятий. Також при тривалому лежанні металу відбувається його старіння, в результаті чого він втрачає міцність і пластичні властивості.

2.8 Прилади, які виявляють дефекти

Існує клас приладів – дефектоскопів. Дефектоскопи здатні виявити як дефекти на поверхні об'єктів, так і нерівномірність структури всередині матеріалу, що робить їх зручним інструментом знаходження бракованих виробів і потенційно слабких місць. Використовуються два основних типа дефектоскопів: ультразвуковий та вихрострумний дефектоскоп. Як приклади можна привести такі прилади: ІТІ-2 – індуктивний дефектоскоп, MFD800C – ультразвуковий дефектоскоп, МВН-3М – вихрострумний дефектоскоп.

2.9 Методи дослідження механічних властивостей металів

Для дослідження механічних властивостей використовують механічні випробування. Найбільш поширеними є випробування на твердість, статичний розтяг, динамічні випробування, на втомленість, повзучість та зношування, які свідчать про властивості металів.

Статичні – це такі випробування, при яких метал, що випробовують піддають дії постійної сили або сили, яка зростає дуже повільно.

Динамічними називають випробування, при яких метал піддають впливу удару або сили, яка зростає дуже швидко.

Статичне випробування на розтяг – поширений спосіб механічних випробувань металів. Для цього випробування виготовляються спеціальні зразки (рис. 2.9), які розриваються на спеціальних розривних машинах (рис. 2.10). На розривних машинах одержують діаграму розтягу (рис. 2.11), по якій можна визначити: межу текучості, межу міцності, відносне видовження і відносне звуження.



Рисунок 2.9 - Зразки для випробувань на розтягування

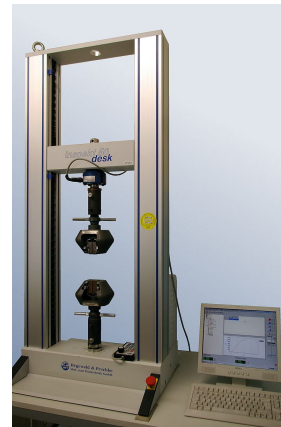


Рисунок 2.10 – Універсальна розривна машина

Межею текучості називається найменше напруження, при якому без помітного збільшення навантаження продовжується деформація досліджуваного зразка. Межу текучості визначають за формулою:

$$G_m = P_m / F_0 ,$$

де P_m – навантаження текучості;

F_0 – поперечний переріз робочої частини зразка до випробування.

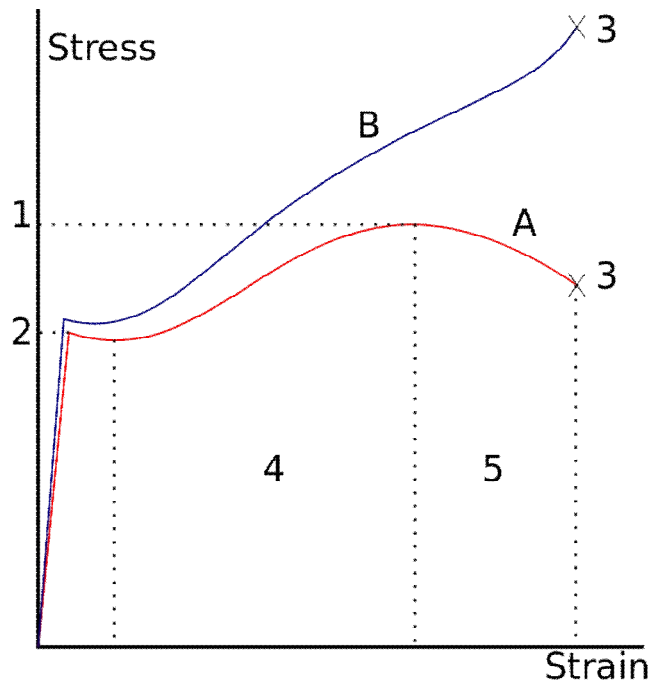


Рисунок 2.11 – Діаграма розтягування конструкційної сталі:
 1 – границя міцності, 2 – границя плинності, 3 – руйнування,
 4 – область деформаційного зміцнення, 5 - область деформаційного
 знеміцнення ; A: умовне напруження, (F/A_0) B: істинне напруження, (F/A)

Умове напруження, яке відповідає найбільшому навантаженню, що передує руйнуванню зразка, називається *межею міцності* і визначається за формулою:

$$G_e = P_e / F_0,$$

де P_e – навантаження, що передує розриву зразка.

По *відносному видовженню та звуженню* оцінюють пластичність металів. Відносне видовження і звуження вимірюють у відсотках (%).

Відносне видовження визначають за формулою:

$$G = l_1 - l_0 / l_0 \cdot 100(\%),$$

де l_1 – довжина зразка після розриву; l_0 – довжина зразка до розриву.

Відносне звуження визначають за формулою:

$$X = F_0 - F_1 / F_0 \cdot 100(\%),$$

де F_0 – початкова площа поперечного перерізу робочої частини зразка;

F_1 – площа поперечного перерізу після розриву.

Твердість визначають за такими методами: методом Брінелля, методом Роквелла, методом Віккерса.

Метод Брінелля заснований на вдавлюванні твердої кульки у досліджуваний метал (рис. 2.12).

Твердість по Брінеллю розраховується за формулою:

$$H_B = P/F,$$

де P – навантаження на кульку; F – величина поверхні відбитка.

Принцип вимірювання твердості по Роквеллу заснований на вдавлюванні у досліджуваний метал стальної кульки діаметром 1,58 мм або конуса з кутом 120° (рис. 2.13) .

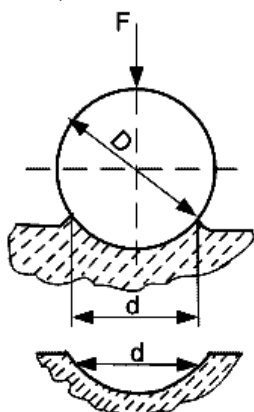


Рисунок 2.12 – Схема випробувань на твердість по Брінеллю

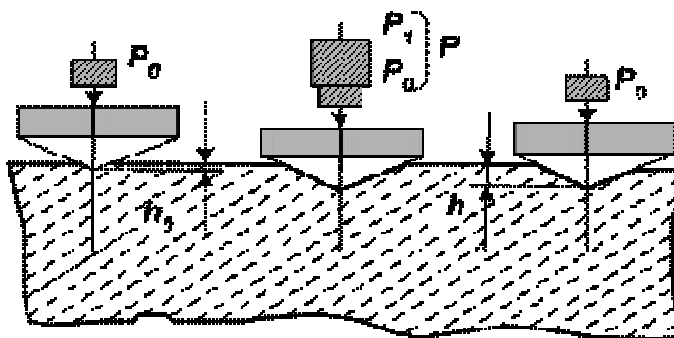


Рисунок 2.13 - Схема випробувань на твердість по Роквеллу

Метод Віккерса дає можливість вимірювати твердість як м'яких, так і дуже твердих металів і сплавів. Він придатний для визначення твердості тонких поверхневих шарів. За цим методом у зразок вдавлюють чотиригранну алмазну піраміду з кутом при вершині 136° (рис. 2.14).

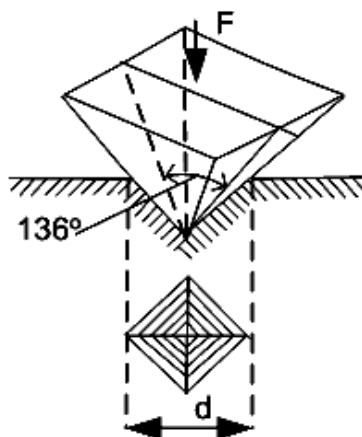


Рисунок 2.14 - Схема випробувань на твердість по Віккерсу

Крім цього, для визначення механічних властивостей металів використовують такі випробування:

- випробування на ударний згин (рис. 2.15);
- випробування на втому.

Вто́ма матеріалу (англ. *fatigue of materials*) — процес поступового накопичення ушкоджень матеріалу під дією перемінних (часто циклічних) напружень, що призводить до зміни його властивостей, утворення тріщин, їх розвитку та руйнування матеріалу за певний час. Такий вид руйнування називають *втомним руйнуванням*.

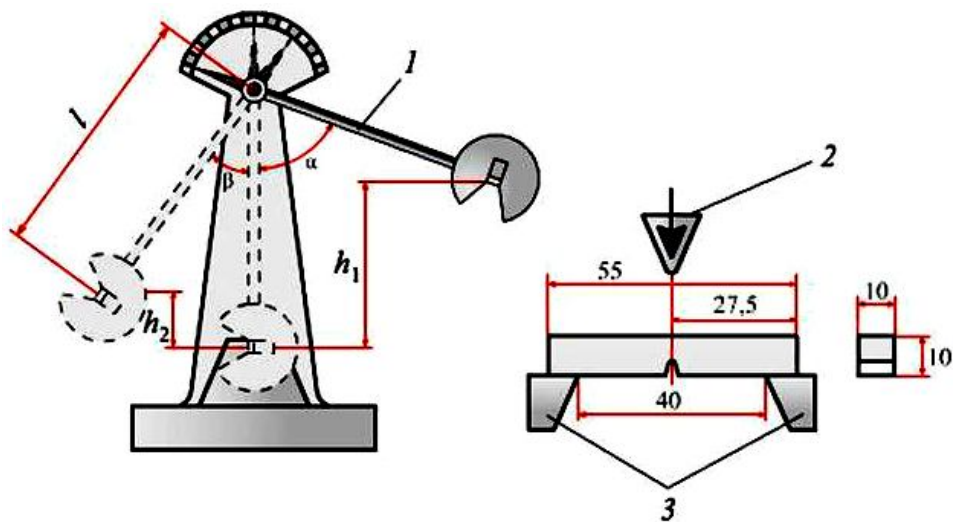


Рисунок 2.15 – Випробовування на ударну в'язкість:

1 — маятник; 2 — ніж маятника; 3 — опори

Випробування технологічних властивостей найбільш прості. Вони визначають можливість проводити ті чи інші технологічні операції з даним металом або застосовувати його у тих чи інших умовах. З них найбільш поширеними є випробування: на вдавлювання, на перегин, на іскру, зварюваність, ковкість, рідинотекучість та ін.

Запитання для контролю знань

1. Назвіть три, типа атомно-кристалічних ґрат металів, що найбільше часто зустрічаються
2. Що таке твердість?
3. Що приймають за одиницю твердості по Брінеллю?
4. Як здійснюється вибір навантаження, час витримки і діаметр кульки при випробуванні по Брінеллю?
5. Які переваги та недоліки методу Брінелля?
6. На якій відстані можуть перебувати відбитки від краю зразка і один від одного при вимірюванні твердості методами Брінелля і Роквелла?
7. Що приймають за одиницю твердості по Роквеллу?
8. Що приймають за одиницю твердості по Віккерсу?
9. Які механічні властивості можна встановити при розтягуванні металу?
10. Поясніть фізичний зміст таких характеристик як межа міцності, границя текучості, відносне подовження і відносне звуження металу.
11. У чому вимірюються механічні характеристики при випробуванні на розтяг?
12. Яка мета проведення випробувань на вигин?
13. У процесі випробування на вигин зразок відчуває стиснення або подовження?
14. У чому вимірюються механічні характеристики при випробуванні на вигин?
15. Які основні відмінності пластичного матеріалу від крихкого при випробуванні на вигин?
16. Що таке ударна в'язкість?
17. Яка мета визначення ударної в'язкості?

ТЕМА 3 ПЛАВЛЕННЯ МЕТАЛІВ. МЕХАНІЗМ КРИСТАЛІЗАЦІЇ МЕТАЛІВ

Кожна речовина залежно від температури і тиску може знаходитися в твердому, рідкому і газоподібному (пароподібному) стані.

3.1 Поняття про сплави і методи їх отримання

Під сплавом розуміють речовину, отриману сплавом двох або більше елементів. Існують й інші способи виготовлення сплавів: спікання, електроліз, сублимація. В цьому випадку речовини називаються псевдо-сплавами.

Сплав, виготовлений переважно з металевих елементів і який має металеві властивості, називається металевим сплавом. Сплави мають комплекс різних властивостей, що змінюються залежно від складу і методу обробки.

Основні поняття в теорії сплавів

Система – група тіл, що виділяються для спостереження і вивчення.

У металознавстві системами є метали і металеві сплави. Чистий метал є простою однокомпонентною системою, сплав – складною системою, що складається з двох і більше компонентів.

Компоненти – речовини, що утворюють систему. Як компоненти виступають чисті речовини і хімічні сполуки, якщо вони не дисоціюють на складові частини в досліджуваному інтервалі температур.

Фаза – однорідна частина системи, відокремлена від інших частин системи поверхнею розділу, під час переходу через яку структура і властивості різко змінюються.

Варіантність (C) (міра вільності) – це число внутрішніх і зовнішніх чинників (температура, тиск, концентрація), які можна змінювати без зміни кількості фаз у системі.

Якщо варіантність $C = 1$ (моноваріантна система), то можлива зміна одного з чинників у деяких межах без зміни числа фаз.

Якщо варіантність $C = 0$ (нонваріантна система), то зовнішні чинники змінювати не можна без зміни числа фаз у системі.

Існує математичний зв'язок між числом компонентів (K), числом фаз (Φ) і варіантністю системи (C).

Це *правило фаз*, або закон Гіббса:

$$C = K - \Phi + 2.$$

Якщо прийняти, що всі перетворення відбуваються за постійного тиску, то число змінних зменшиться:

$$C = K - \Phi + 1,$$

де C – варіантність системи,

K – число компонентів,

Φ – число фаз,

1 – враховує можливість зміни температури.

3.2 Особливості будови, кристалізації сплавів: механічних сумішей, твердих розчинів, хімічних сполук

Будова металевого сплаву залежить від того, в які взаємодії вступають компоненти, складові сплаву. Майже всі метали у рідкому стані розчиняються один в одному в будь-яких співвідношеннях. У процесі утворення сплавів під час їх твердіння можлива різна взаємодія компонентів.

Залежно від характеру взаємодії компонентів, розрізняють сплави:

- механічні суміші,
- тверді розчини,
- хімічні сполуки.

Сплави *механічні суміші* утворюються, коли компоненти взаємно не розчиняються в твердому стані і не вступають у хімічну реакцію з утворенням з'єднання.

Утворюються механічні суміші між елементами, що значно розрізняються за будовою і властивостями, коли сила взаємодії між однорідними атомами більша, ніж між різнорідними. Сплав складається з кристалів компонентів, що входять до його складу (рис. 3.1). У сплавах зберігаються кристалічні решітки компонентів.

Сплави *тверді розчини* – це тверді фази, в яких співвідношення між компонентами можуть змінюватися; вони є кристалічними речовинами. Характерною особливістю твердих розчинів є наявність в їх кристалічній решітці різнорідних атомів за збереження типу ґрат розчинника. Твердий розчин складається з однорідних зерен (рис. 3.2).

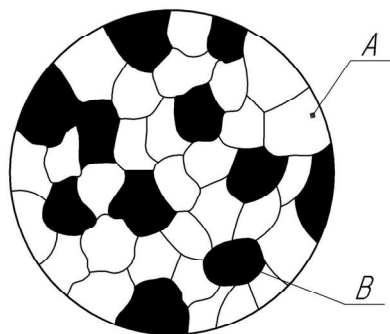


Рисунок 3.1 – Схема мікроструктури механічної суміші: A,B– компоненти сплаву

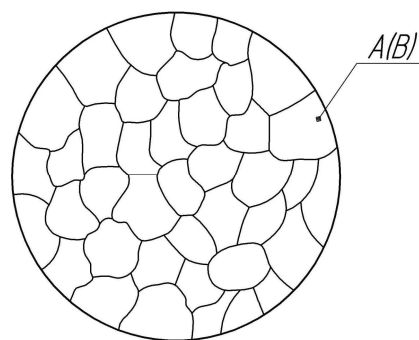


Рисунок 3.2 – Схема мікроструктури твердого розчину

Сплави *хімічні сполуки* утворюються між елементами, що значно розрізняються за будовою і властивостями, якщо сила взаємодії між різнорідними атомами більша, ніж між однорідними.

Особливості цих сплавів:

1. Постійність складу, тобто сплав утворюється за певного співвідношення компонентів; хімічна сполука позначається $A_n B_m$.

2. Утворюється специфічна кристалічна решітка з правильним впорядкованим розташуванням атомів, що відрізняється від ґрат елементів, з яких складаються хімічні сполуки (рис. 3.3).

3. Яскраво виражені індивідуальні властивості.
4. Постійність температури кристалізації, як у чистих компонентів.

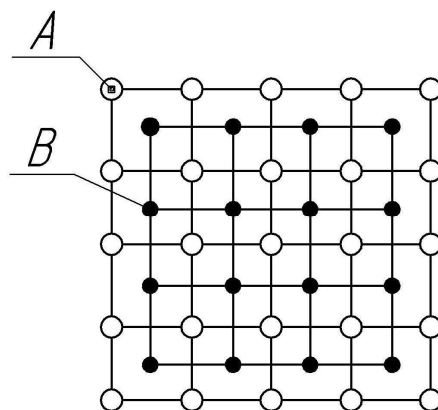


Рисунок 3.3 – Кристалічна решітка хімічної сполуки

3.3 Класифікація сплавів твердих розчинів

За ступенями розчинності компонентів розрізняють тверді розчини:

- з необмеженою розчинністю компонентів,
- з обмеженою розчинністю компонентів.

За необмеженої розчинності компонентів кристалічна гратка компоненту-розчинника по мірі збільшення концентрації розчиненого компонента плавно переходить у кристалічну гратку розчиненого компонента.

Для утворення розчинів із необмеженою розчинністю необхідні:

- ізоморфність (однотипність) кристалічних решіток компонентів;
- близькість атомних радіусів компонентів, які не повинні відрізнятися більше ніж на 8 – 13 %.
- близькість фізико-хімічних властивостей подібних за будовою валентних оболонок атомів.

За обмеженої розчинності компонентів можлива концентрація розчиненої речовини до певної межі. За подальшого збільшення концентрації однорідний твердий розчин розпадається з утворенням двофазної суміші.

За характером розподілу атомів розчиненої речовини в кристалічній гратці розчинника розрізняють тверді розчини:

- заміщення,
- занурення,
- віднімання.

У розчинах заміщення в кристалічній гратці розчинника частина його атомів заміщена атомами розчиненого елемента (рис. 3.4 а). Заміщення здійснюється у випадкових місцях, тому такі розчини називають нерегульованими твердими розчинами.

У процесі утворення розчинів заміщення періоди грат змінюються залежно від різниці атомних діаметрів розчиненого елемента і розчинника. Якщо атом

розчиненого елементу більше атома розчинника, то елементарні осередки збільшуються, якщо менше – скорочуються. У першому наближенні, ця зміна пропорційна концентрації розчиненого компоненту. Зміна параметрів ґрат під час утворення твердих розчинів – важливий момент, що визначає зміну властивостей. Зменшення параметру веде до більшого зміцнення, ніж його збільшення.

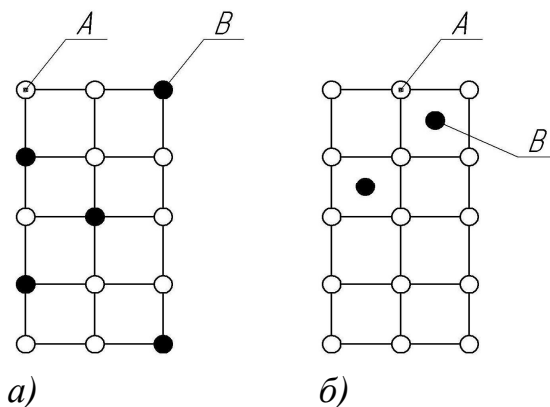


Рисунок 3.4 – Кристалічна ґратка твердих розчинів:
а – заміщення, б – занурення

Тверді розчини занурення утворюються зануренням атомів розчиненого компоненту в пори кристалічної ґратки розчинника (рис. 3.4 б).

Утворення таких розчинів можливо, якщо атоми розчиненого елементу мають малі розміри. Такими є елементи, що знаходяться на початку періодичної системи Д. І. Менделєєва, – вуглець, водень, азот, бор. Розміри атомів перевищують розміри міжатомних проміжків у кристалічній решітці металу, що викликає спотворення ґрат і в них виникає напруга. Концентрація таких розчинів не перевищує 2 – 2,5 %.

Тверді розчини віднімання (або розчини з дефектними ґратами) утворюються на базі хімічних сполук. Можливою є не тільки заміна одних атомів у вузлах кристалічної решітки іншими, але й утворення порожніх, не зайнятих атомами, вузлів у ґратах.

До хімічної сполуки додають один з елементів, що входить до формули; його атоми займають нормальне положення в ґратах з'єднання, а місця атомів іншого елементу залишаються незайнятими.

3.4 Кристалізація сплавів

Кристалізацією називається утворення кристалів у металах (і сплавах) при переході з рідкого стану в твердий (первинна кристалізація). До вторинної кристалізації відносять перетворення в затверділому металі при його охолодженні.

Розглянемо перехід металу з рідкого стану в твердий.

У процесі нагрівання всіх кристалічних тіл спостерігається чітка межа переходу з твердого стану в рідкий. Така ж межа існує у процесі переходу з рідкого стану в твердий.

Кристалізація – це процес утворення ділянок кристалічної решітки в рідкій фазі і зростання кристалів із центрів, що утворилися.

Кристалізація протікає в умовах, коли система переходить до термодинамічно стійкішого стану з мінімумом вільної енергії.

Процес переходу металу з рідкого стану в кристалічний можна зобразити кривими в координатах час – температура. Крива охолодження чистого металу представлена на рисунку 3.5.

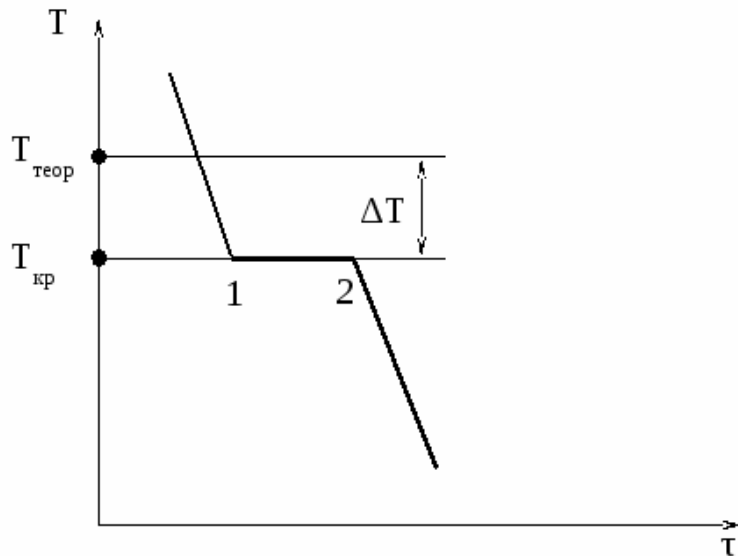


Рисунок 3.5 – Крива охолодження чистого металу

Процес кристалізації чистого металу

До точки 1 охолоджується метал у рідкому стані, процес супроводжується плавним зниженням температури. На ділянці 1–2 відбувається процес кристалізації, що супроводжується виділенням тепла, яке називається *прихованою теплотою кристалізації*. Воно, компенсує розсіювання теплоти в простір, і тому температура залишається постійною. Після закінчення кристалізації в точці 2 температура знову починає знижуватися, метал охолоджується в твердому стані.

Кристалізація сплавів підпорядкована тим же закономірностям, що і кристалізація чистих металів. Необхідною умовою є прагнення системи до стану з мінімумом вільної енергії. Основною відмінністю є велика роль дифузійних процесів між рідиною і фазою, що кристалізується. Ці процеси необхідні для перерозподілу різнорідних атомів, рівномірно розподілених у рідкій фазі.

Зі зміною зовнішніх умов вільна енергія змінюється за складним законом, відмінним для рідкого і кристалічного станів. Характер зміни вільної енергії рідкого і твердого станів зі зміною температури показаний на рисунку 3.6.

Відповідно до цієї схеми, вище за температуру T_s речовина повинна знаходитися в рідкому стані, а нижче T_s – у твердому.

За температури, що дорівнює T_s , рідка і тверда фази мають однакову енергію, метал в обох станах знаходиться в рівновазі, тому дві фази можуть

існувати одночасно нескінченно довго. Температура T_s – *рівноважна*, або теоретична температура кристалізації.

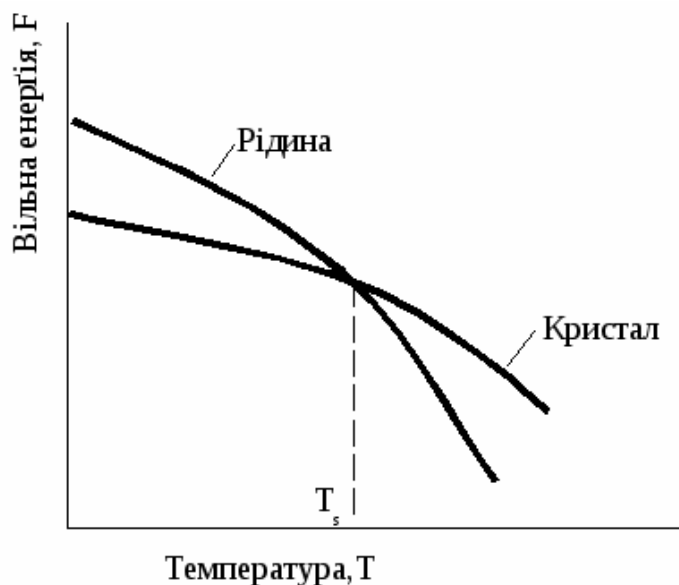


Рисунок 3.6 – Зміна вільної енергії в залежності від температури.

Для початку процесу кристалізації необхідно, щоб процес був термодинамічно вигідний системі і супроводжувався зменшенням вільної енергії системи. Це можливо за охолодження рідини нижче за температуру T_s . Температура, за якої практично починається кристалізація, називається *фактичною температурою* кристалізації.

Охолодження рідини нижче за рівноважну температуру кристалізації називається *переохолодженням*, яке характеризується ступенем переохолодження (ΔT):

$$\Delta T = T_{теор} - T_{кр},$$

де $T_{теор}$ – теоретична температура кристалізації;

$T_{кр}$ – фактична температура кристалізації.

Ступінь переохолодження залежить від природи металу, ступеня його забрудненості (чим чистіший метал, тим більший ступінь переохолодження), швидкості охолодження (чим вища швидкість охолодження, тим більша ступінь переохолодження).

3.5 Будова металевого злитку

Схема сталевого злитку, дана Д. К. Черновим, представлена на рисунку 3.7.

Кристалізація кіркової зони йде в умовах максимального переохолодження. Швидкість кристалізації визначається значною кількістю центрів кристалізації. Утворюється дрібнозерниста структура.

Рідкий метал під кірковою зоною знаходиться в умовах меншого переохолодження. Кількість центрів обмежена і процес кристалізації реалізується за рахунок їх інтенсивного зростання до великого розміру.

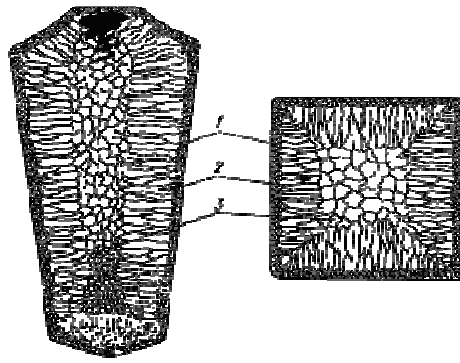


Рисунок 3.7 – Схема сталевго злитку:

1 - дрібнокристалічна кіркова зона; 2 - зона стовпчастих кристалів;
3 - внутрішня зона крупних рівноважних кристалів

Зростання кристалів у другій зоні має направлений характер. Вони ростуть перпендикулярно стінкам виливниці, утворюються деревовидні кристали – дендрити (рис. 3.8). Ростуть дендрити за напрямом, близьким до напрямку тепловідведення.

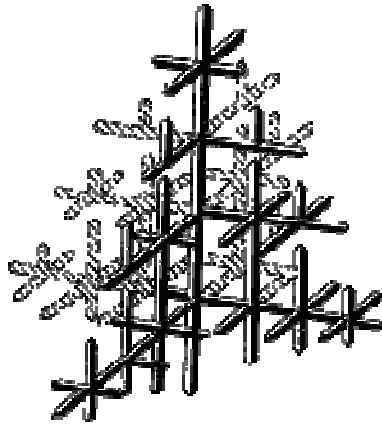


Рисунок 3.8 – Схема дендриту за Черновим Д. К.

Оскільки тепловідведення від металу всередині злитку в різні боки вирівнюється, то в центральній зоні утворюються крупні дендрити з випадковою орієнтацією.

Зони стовпчастих кристалів у процесі кристалізації стикаються. Це явище називається *транскристалізацією*. Для мало-пластичних металів і для сталей це явище небажане, оскільки за подальшого пластичного деформування, кування можуть утворюватися тріщини в зоні стику.

У верхній частині злитку утворюється усадкова раковина, яка підлягає відокремленню і переплавленню, оскільки метал більш крихкий (близько 15–20 % від довжини злитку).

У сплавах у твердих станах мають місце процеси перекристалізації, зумовлені алотропічними перетвореннями компонентів сплаву, розпадом твердих розчинів, виділенням із твердих розчинів вторинних фаз, коли розчинність компонентів у твердому стані міняється зі зміною температури.

За перекристалізації в твердому стані утворюються центри кристалізації і відбувається їх зростання.

Зазвичай центри кристалізації виникають по межах зерен старої фази, де грати мають найбільш дефектну будову і де є домішки, які можуть стати центрами нових кристалів. У старій і новій фазі протягом деякого часу є загальні площини. Такий зв'язок грат називається *когерентним зв'язком*. У разі відмінності будови старої і нової фаз перетворення протікає з утворенням проміжних фаз.

Порушення когерентності і відособлення кристалів настає, коли вони отримують певні розміри. Процеси кристалізації сплавів вивчаються за діаграмами стану.

При затвердінні і при алотропічному перетворенні в металі спочатку виникають зародки кристала (центри кристалізації), навколо яких групуються атоми, утворюючи відповідну кристалічну гратку. Центрами кристалізації можуть служити неметалічні включення. Таким чином, процес кристалізації складається з двох етапів: утворення центрів кристалізації і зростання кристалів (рис. 3.9).

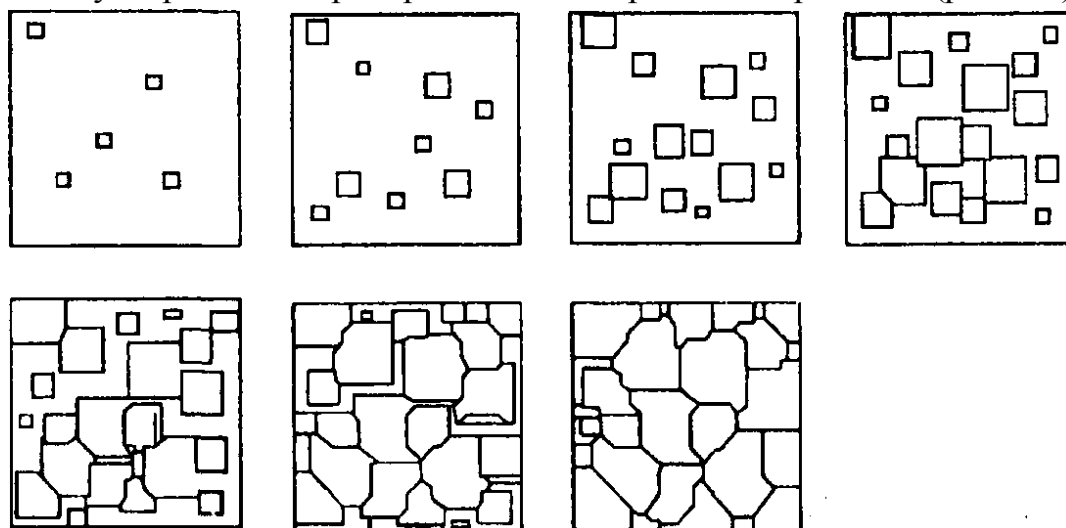


Рисунок 3.9 - Схема процесу кристалізації

Властивості металів залежать так само від форми і розміру зерен, отже, дуже важливо знати, яким чином і за якими законами відбувається кристалізація металів і чи можна управляти розмірами зерен, щоб набувати необхідні властивості.

Запитання для контролю знань

1. Сформулюйте правило фаз. Пояснить, що таке варіантність.
2. Порівняйте механічні суміші, хімічні сполуки, тверді розчини. Наведіть приклади таких систем.
3. Назвіть умови кристалізації металів і сплавів.
4. Чим зумовлені процеси перекристалізації металів?
5. Що таке транскристалізація?
6. Від чого залежать властивості металів?

ТЕМА 4 ЗАЛІЗОВУГЛЕЦЕВІ СПЛАВИ

Залізовуглецевими сплавами (сталі і чавуни) є сплави заліза з вуглецем і іншими елементами. Вуглець надає вирішальний вплив на формування структури сплаву. Залізо з вуглецем здатне утворити тверді розчини, а також хімічну сполуку – цементит Fe_3C . Для розуміння формування структури і властивості сталей і чавунів необхідно глибоко вивчити мікроструктуру залізовуглецевих сплавів, їх хімічний склад. Треба з'ясувати вплив вуглецю і постійних домішок на властивості сталей і чавунів, а також принцип класифікації вуглецевих сталей і чавунів, позначення їх марок за стандартами; навчитися визначати за маркою зразка хімічний склад сталі або чавуну.

4.1 Діаграма стану системи

Діаграма стану є графічним зображенням стану будь-якого сплаву системи, що вивчається, залежно від концентрації і температури (рис. 4.1).

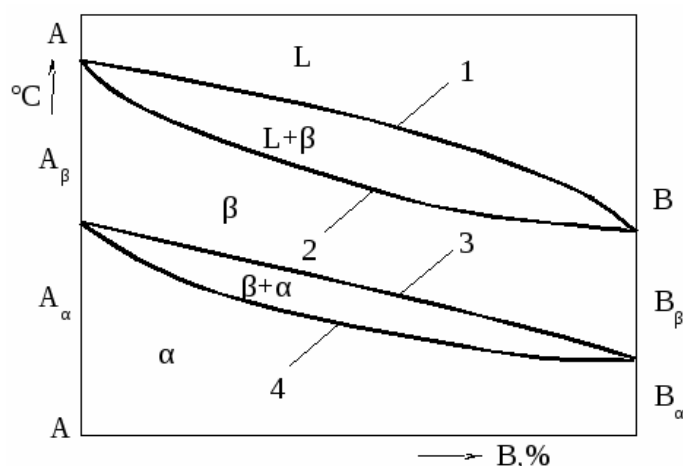


Рисунок 4.1 – Діаграма стану

Діаграми стану показують стійкі стани, тобто стани, які за даних умов володіють мінімумом вільної енергії, і тому її також називають діаграмою рівноваги, оскільки вона показує, які за даних умов існують рівноважні фази.

У результаті отримують серію кривих охолодження, на яких за температур фазових перетворень спостерігаються точки перегину і температурні зупинки.

Температури, що відповідають фазовим перетворенням, називають *критичними точками*. Деякі критичні точки мають назви, наприклад, точку, що відповідає початку кристалізації, називають *точкою ліквідус*, а кінцю кристалізації – *точкою солідус*.

За кривими охолодження будують діаграму стану в координатах: за віссю абсцис – концентрація компонентів, за віссю ординат – температура.

Шкала концентрацій показує вміст компоненту B . Основними лініями є лінії ліквідус (1) і солідус (2), а також лінії, що відповідають фазовим перетворенням у твердому стані (3, 4).

За діаграмою стану можна визначити температури фазових перетворень, зміну фазового складу, приблизно, властивості сплаву, види обробки, які можна застосовувати для даного сплаву.

4.2 Компоненти, фази та структурні складові залізовуглецевих сплавів

Найбільше поширення одержала діаграма залізо-вуглець, оскільки залізовуглецеві сплави складають основу металевих матеріалів, які використовує людина. Діаграма стану залізо–вуглець у графічній формі зображує фазовий склад сплаву в залежності від температури і концентрації вуглецю і складається з трьох простих подвійних діаграм:

- подвійної діаграми з обмеженою розчинністю компонентів і перитектичним перетворенням при 1499 °С,
- подвійної діаграми з обмеженою розчинністю компонентів і евтектичним перетворенням при 1147 °С,
- подвійної діаграми з обмеженою розчинністю компонентів і евтектоїдним перетворенням при 727 °С.

Залізо — метал сріблястого кольору, атомний номер 26, температура плавлення 1539 °С. Чисте залізо містить 99,999 % Fe, технічне – залізо 99,8 –99,9 % Fe. Залізо існує у двох кристалічних формах – ОЦК і ГЦК. При температурі нижчій від 911°С існує α -залізо. При температурі вищій за 1392 °С залізо позначають як δ -залізо. Кристалічна решітка α і δ -заліза ОЦК. Період решітки α -заліза до температури 911 °С становить $2,86 \text{ \AA}$, вище температури 1392 °С – $2,93 \text{ \AA}$. Густина α -заліза 7680 кг/м^3 . До температури 768 °С (точка Кюрі) α -залізо магнітне, вище цієї температури – немагнітне (β -залізо).

Перетворення однієї модифікації на іншу протікає за постійної температури і супроводжується тепловим ефектом. Видозміни елементу позначаються буквами грецького алфавіту у вигляді індексу основного позначення металу.

Прикладом алотропічної видозміни залежно від температури є залізо (рис. 4.2).

Використовуючи явище поліморфізму, можна зміцнювати сплави за допомогою термічної обробки.

Вуглець – неметалевий елемент, атомний номер 6, густина 2500 кг/м^3 , температура плавлення 3500 °С. Вуглець поліморфний. У звичайних умовах він є модифікацією графіту, але може існувати і як метастабільна модифікація алмазу. Вуглець розчиняється в залізі в рідкому і твердому станах, а також може знаходитись у вигляді хімічної сполуки (цементиту), а у високо-вуглецевих сплавах у формі графіту.

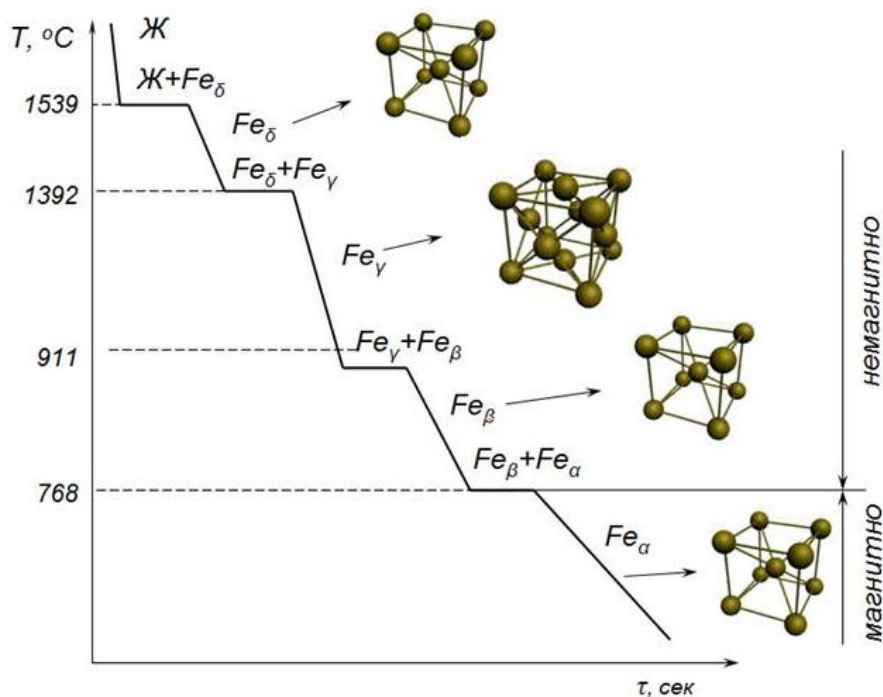


Рисунок 4.2 – Крива охолодження чистого заліза

Для отримання заданих властивостей в сталь та чавун вводять легуючі елементи. Діаграма стану залізо – вуглець, яка буде розглянута нижче (рис. 4.3), дає основне уявлення про будову залізобуглецевих сплавів. Лінії діаграми, що розташовані нижче лінії солідусу, вказують на протікання процесів вторинної кристалізації (перекристалізації), які пов'язані із зміною розчинності вуглецю в залізі і з алотропними перетвореннями заліза

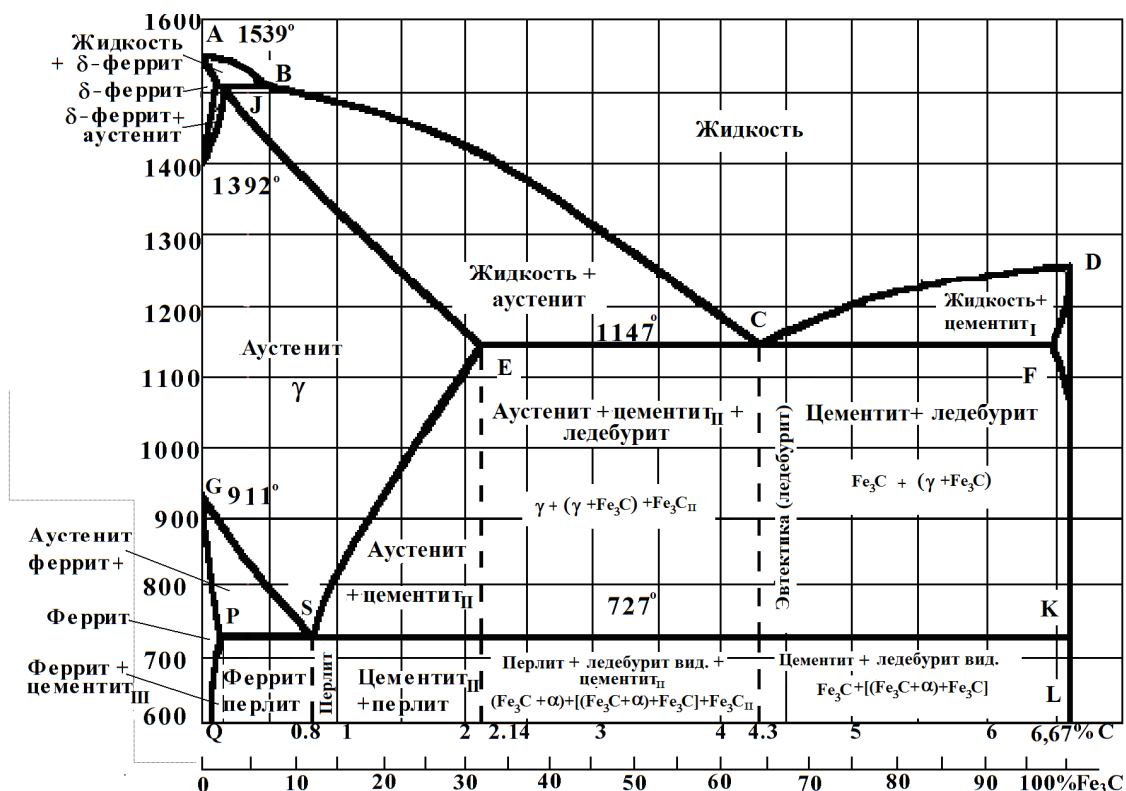


Рисунок 4.3 – Діаграма стану залізо–вуглець

Компонентами системи Fe – Fe₃C є залізо і цементит. Фази: рідкий сплав, ферит, аустеніт і цементит.

Рідкий сплав (розчин) – однорідна рідина, що складається із заліза та вуглецю. Рідкий сплав існує як окрема фаза вище лінії ліквідусу, а між лініями ліквідус і солідус він перебуває у рівновазі з кристалічною фазою (феритом, аустенітом або цементитом). Залізо добре розчиняє вуглець і утворює однорідну рідку фазу, в твердому стані (нижче лінії солідус) – ферит, аустеніт, цементит.

Ферит – твердий розчин вуглецю в α-залізі. Розрізняють низькотемпературний α-ферит з розчинністю 0,02 % і високотемпературний δ-ферит з межевою розчинністю 0,1 %. Ферит м'який HB 80-100, пластичний, має чітко виражені магнітні властивості, добре проводить тепло та електрику, решітка фериту кубічна, об'ємоцентрована.

Аустеніт – твердий розчин вуглецю в γ-залізі, має кубічну гранецентровану решітку. Межова розчинність вуглецю в γ-залізі 2,14 %. Аустеніт м'який (HB 200), магнітних властивостей не має.

Цементит – хімічна сполука заліза з вуглецем – карбід заліза Fe₃C із вмістом вуглецю 6,67 %. Цементит дуже твердий і крихкий HB 800, магнітні властивості виражені слабо, погано проводить електричний струм і теплоту, кристалічна решітка складна. Температура плавлення цементиту точно не встановлена у зв'язку з можливістю його розпаду. Структурні складові сплавів заліза (сталей і чавунів) – перліт і ледебурит.

Перліт – це евтектоїдна суміш фериту та цементиту у вигляді дуже тонких пластинок або зерен. Евтектоїдна суміш утворюється внаслідок розпаду аустеніту при температурі 727 °C. Вміст вуглецю у перліті складає 0,8 %. Перліт буває пластинчастий або зернистий, що залежить від умов його утворення.

Звичайно в пластинчастому перліті цементит розташований у фериті пластинами. У зернистому перліті цементит має кулясту форму і знаходиться в фериті у вигляді зерен. Зернистий перліт можна отримати при тривалій витримці пластинчастого перліту при температурі близько 700 °C. Механічні властивості перліту залежать від ступеню подрібнення часток цементиту.

Ледебурит – евтектична суміш аустеніту та цементиту, що містить 4,3 % вуглецю. Ледебурит утворюється при затвердінні залізовуглецевих сплавів при температурі 1147 °C.

У інтервалі температур від 1147 °C до 727 °C він являє собою механічну суміш зерен аустеніту та пластин первинного цементиту, що випав із розплаву; нижче 727 °C ледебурит складається із перліту, що утворився при розпаді аустеніту і первинного цементиту. Ледебурит характеризується високою твердістю HB 700 і крихкістю.

4.3 Характерні лінії діаграми

ACD – ліквідус; AECF – солідус. Вище лінії ACD сплави системи перебувають у рідкому стані. По лінії AC з рідкого розчину починають випадати кристали твердого розчину вуглецю в γ -залізі, який називається аустенітом, отже, в області ACE буде суміш двох фаз – рідкого розчину і аустеніту; по лінії CD з рідкого розчину починають випадати кристали цементиту; в області DCF міститься суміш двох фаз – рідкого розчину і цементиту.

Перетворення у твердому стані (вторинна кристалізація) відбувається по лініях GSE, PSK і GPQ. Перетворення у твердому стані відбуваються внаслідок переходу заліза з однієї модифікації в іншу, а також у зв'язку із зміною розчинності вуглецю в залізі.

В області діаграми AGSE існує аустеніт. При охолодженні сплавів аустеніт розпадається з виділенням по лінії GS фериту (твердий розчин вуглецю в α -залізі), а по лінії SE – вторинного цементиту (хімічна сполука Fe_3C). В області діаграми GSP міститься суміш двох фаз – фериту і аустеніту, а в області SEE_1 – суміш вторинного цементиту і аустеніту. По лінії PSK відбувається розпад аустеніту з утворенням перліту; тому ця лінія називається лінією остаточного перетворення аустеніту в перліт або перлітною.

4.4 Характерні точки діаграми

У точці C при вмісті 4,3 % вуглецю і температурі 1147 °C відбувається одночасно кристалізація аустеніту і цементиту і утворюється їх тонка механічна суміш, яка називається ледебуритом. Точку C називають евтектичною точкою. Ледебурит є у всіх сплавах, які містять 2,14...6,67 % вуглецю. Ці сплави є чавунами. Точка E відповідає граничному насиченню заліза вуглецем (2,14 %). Сплави, які лежать ліворуч від цієї точки, належать до сталей.

У точці S при вмісті 0,8 % вуглецю і температурі 727 °C аустеніт розпадається і кристалізується тонка механічна суміш фериту та цементиту вторинного – евтектоїд, який називається перлітом. Провівши аналіз перетворень на діаграмі стану «залізо–цементит», можна зробити висновок про структуру сталей та чавунів у нормальних умовах. Сталі із вмістом вуглецю до 0,8 % мають структуру ферит + перліт; із вмістом 0,8 % вуглецю – чистий перліт; із вмістом від 0,8 до 2,14 % вуглецю – перліт + цементит вторинний. Чавуни із вмістом від 2,14 до 4,3 % вуглецю мають структуру перліт + цементит вторинний + ледебурит; із вмістом 4,3 % вуглецю – чистий ледебурит; із вмістом вуглецю від 4,3 до 6,67 % – цементит первинний і ледебурит.

Варто вивчити теорію і технологію термічної обробки сталі, щоб уміти, користуючись діаграмою стану залізо-вуглець, призначати температури нагрівання сталі в залежності від вмісту вуглецю і виду термічної обробки. Особливу увагу зверніть на діаграму ізотермічного перетворення аустеніту,

тому що вона допоможе усвідомити фізичну сутність процесу відпалу, нормалізації, гартування й обробки холодом.

Знання різних видів термічної обробки дозволить вибрати необхідний режим обробки сталі в залежності від необхідних властивостей.

Застосування термічної обробки сталі дозволило використовувати в будівництві полегшені профілі, зменшити перетин арматурної сталі без зниження міцнісних властивостей і за рахунок цього різко скоротити споживання металу. Варто уважно розібратися в будові і властивостях перліту, сорбіту, трооститу, мартенситу. Необхідно також уявити розбіжності між загартовуваністю і прогартовуваністю; вивчити методи поверхневого гартування, установити зв'язок між частотою струму і глибиною гартування.

Запитання для контролю знань

1. Які модифікації має залізо?
2. Накресліть криві нагрівання й охолодження заліза, укажіть критичні точки.
3. Накресліть діаграму стану сплавів заліза з вуглецем. Покажіть на цій діаграмі лінії ліквідусу і солідусу.
4. Охарактеризуйте основні структури залізовуглецевих сплавів.
5. Як класифікуються сталі і чавуни?
6. Охарактеризуйте структурні перетворення, що відбуваються при повільному охолодженні сплаву заліза з вуглецем, що містить 0,4 % C (доевтектоїдна сталь), 4,3 % C (евтектичний чавун) і 5 % C (заевтектичний чавун).
7. Знайдіть на діаграмі стану системи сплавів залізо–цементит точку A_{c3} для сталі, що містить 0,45 % C.
8. Запропонуйте схему кристалізації чистих металів.
9. Який існує зв'язок між числом центрів і швидкістю кристалізації залежно від ступеня переохолодження? Як впливає ступінь переохолодження на структуру металу при кристалізації?
10. Які перетворення називаються алотропними? Назвіть метали, що володіють алотропними перетвореннями.
11. Накресліть криву кристалізації і перекристалізації чистого заліза. Які при цьому відбуваються перетворення? Їх суть?
12. Що таке металевий сплав? Назвіть типи взаємодії двох компонентів при кристалізації сплавів.

ТЕМА 5 ЛЕГОВАНІ СТАЛІ ТА СПЛАВИ

Легована сталь містить добавки інших металів з метою надання їй тих чи інших властивостей. Як легуючі елементи найчастіше застосовують хром, нікель, манган, силіцій, вольфрам, молібден і ванадій, значно рідше – кобальт, титан, берилій та інші метали. У більшості випадків легуючі елементи додаються в незначних кількостях – десяті частки відсотка, але деякі з них — від декількох до 10 – 15 % і навіть більше. Назви легованих сталей походять від назв легуючих елементів.

За ступенем легування сталі поділяють на *низьколеговані* з вмістом легуючих елементів до 2,5 %, *середньо-леговані* – 2,5 – 10 % та *високолеговані*, де вміст легуючих елементів перевищує 10 %.

Головна мета легування переважної більшості сталей – підвищення міцності за рахунок розчинення легуючих елементів у фериті та аустеніті, утворення карбідів та збільшення прогартовуваності. Крім того, легуючі елементи можуть підвищувати стійкість проти корозії, теплостійкість, жаростійкість, жароміцність тощо. Такі елементи як хром, марганець, молібден, вольфрам, ванадій, титан утворюють карбіди, а нікель, кремній, мідь, алюміній карбідів не утворюють. Марганець та нікель знижують критичні точки A_1 і A_3 , а решта – підвищують. Крім того, легуючі елементи зменшують критичну швидкість охолодження при гартуванні, що необхідно враховувати при призначенні режимів гартування (температури нагрівання та середовища для охолодження). За значної кількості легуючих елементів може суттєво змінитись структура, що приводить до утворення нових структурних класів в порівнянні з вуглецевими сталями.

Легуючі елементи, які утворюють карбіди, подрібнюють зерно при кристалізації.

5.1 Маркування легованих сталей

Леговані сталі маркують за допомогою літер і цифр. Легуючі елементи позначаються літерами: Н – нікель, Х – хром, К – кобальт, М – молібден, Г – марганець, Д – мідь, Р – бор, Б – ніобій, С – кремній, В – вольфрам, Т – титан, Ф – ванадій, П – фосфор, А – азот.

Перші дві або три цифри на початку маркування показують середній вміст вуглецю в сотих частках відсотка, а якщо одна цифра – то в десятих частках. Цифри, які стоять після літер, вказують на середній вміст легуючого елемента, що позначається цією літерою у відсотках. Якщо вуглецю або легуючого елемента міститься близько 1 %, то цифри не ставляться. Буква А на кінці маркування позначає, що дана сталь належить до високоякісних.

Наприклад:

- сталь 35Х2ГСА має 0,35% вуглецю, 2% хрому, 1% марганцю, 1% кремнію. А – означає, що ця сталь високоякісна;
- сталь 110Г13 містить 1,10% вуглецю, 13% марганцю;

- сталь *XB5* має 1% вуглецю, 1% хрому, 5% вольфраму;
- сталь *9XC* містить 0,9% вуглецю, 1% хрому, 1% кремнію.

У високо-вуглецевих інструментальних сталях цифри, які показують вміст вуглецю, взагалі упускаються, наприклад марка *X12M* означає сталь з вмістом 1,5...1,7 % C, 12% хрому і 0,5% молібдену. Деякі леговані сталі виділені в окремі групи і позначаються буквами: Ш – кулькопідшипникові, Р – швидкорізальні, Е – для постійних магнітів.

5.2 Класифікація легованих сталей

За структурою в стані відпалу

- доевтектоїдні, із легованим феритом і евтектоїдом у структурі: сталі *20XH3A*; *18XГТ*; *40X*;
- евтектоїдні, із структурою лише евтектоїду: сталь *80X*;
- заевтектоїдні, із евтектоїдом і вторинними карбідами у структурі: сталі *9XC*, *ШХ15*, *ХВГ*;
- ледебуритні (карбідні): зі структурою евтектоїду, евтектичних (первинних) і вторинних карбідів: сталі *P18*, *P14Ф4*, *X12M*;
- аустенітні – структура легований аустеніт: сталі *110Г13*, *12X18H10T*;
- феритні – структура легований ферит: сталі *10X17*, *10X25*.

За призначенням леговані сталі поділяються на конструкційні, інструментальні та сталі з особливими властивостями.

Конструкційні сталі застосовують для виготовлення деталей машин, при цьому в цих сталях міститься хрому, марганцю, кремнію до 2 %, нікелю до 4 %.

Приклади конструкційних сталей:

- низьковуглецеві, які піддаються цементації: *15X*, *18XГТ*, *12XH3A*, *25XHP*;
- середньо-вуглецеві, які піддаються поліпшенню: *35XГСА*, *40X*, *45Г2*;
- ресорно-пружинні: *55C2*, *60Г*, *60C2ХФА*, *65C2BA*;
- високоміцні: *03H18K9M5T*, *04X11H9M2Д2ТЮ*, *25H24M4*, *24H21Г2C2M4*, *30X10Г10*;
- підшипникові: *ШХ9*, *ШХ15* (0,9 % і 1,5 % хрому відповідно);
- будівельні: *10Г2С*, *15ХСНД*, *15ГФ*.

Інструментальні сталі застосовують для різного інструменту. Вони повинні мати високу твердість та зносостійкість.

Сталі для різального інструменту:

- низької теплостійкості (до 250 °С): *ХГ*, *9XC*, *ХВГ*, *ХВСГ*;
- підвищеної до 600 °С теплостійкості: *P9*, *P6M5*, *P9K5*, *P14Ф4*.

Сталі для вимірювального інструменту. Ці сталі повинні мати високу твердість, зносостійкість і зберігати постійність розмірів. Для виготовлення плиток, калібрів, шаблонів застосовують високо-вуглецеві хромисті сталі, наприклад, *ХВГ*, *XB5*. Найчастіше такі сталі після гартування обробляють холодом (для повного перетворення залишкового аустеніту в мартенсит).

Сталі для штампів:

- холодного деформування середніх розмірів: *9XC, X6BΦ*;
- холодного деформування різних розмірів, особливо високоточних: *X12M, X12Φ*;
- гарячого деформування середніх розмірів: *5XHT, 5XHB*;
- гарячого деформування великих розмірів важко-навантажених: *4X2B5MΦ, 5X3B3MΦC*.

Спеціальні сталі (сталі з особливими властивостями) застосовують для роботи в агресивних середовищах, при високих температурах, ударних навантаженнях тощо.

Корозійностійкі сталі мають високу корозійну стійкість у хімічно активних газових і рідких середовищах. Це досягається за рахунок великого вмісту хрому (понад 13%). Титан вводять в сталь для запобігання міжкристалітної корозії. Корозійностійкі сталі поділяються на:

- хромисті *10X13, 40X13, 10X25* (феритна);
- хромонікелеві (аустенітні): *12X18H9, 10X18H10T*.

Жаростійкі і жароміцні сталі мають здатність сталі чинити опір газовій корозії за підвищених температур та зберігати достатню міцність за високих температур.

Жаростійкість забезпечується легуванням сталей хромом, кремнієм та алюмінієм, які утворюють захисні плівки $(Fe, Cr)_2O_3$, SiO_2 , Al_2O_3 . До жаростійких сталей відносяться леговані сталі *25X6C10, 40X9C2, 15X25T, 12X18H10T*.

Жароміцність досягається легуванням тугоплавкими хімічними елементами (хром, нікель, молібден). Як правило, жароміцні сталі мають і жаростійкість. Це сталі *15X2MΦC, 15X11MΦ, 40X10C2M, 10X18H10T, 40X15H7Г7Φ2MC*.

Зносостійка (аустенітна) сталь *110Г13Л* використовується для виготовлення деталей, які працюють в умовах абразивного тертя й високого тиску та ударів (наприклад, траки гусеничних машин, деталі подрібнювачів, хрестовини залізничних і трамвайних колій, черпаки землерийних машин). Характерна особливість марганцевого аустеніту – здатність сильно наклепуватись і перетворюватися в мартенсит, що призводить до підвищення твердості й опору зношенню.

5.3 Використання легованих сталей

Прикладом високолегованих сталей може служити вольфрамо-хромованадієва сталь із вмістом 18% *W*, 4% *Cr* і 1% *V*. Цю сталь називають швидкорізальною, оскільки з неї виробляють різальні інструменти. Особливістю цієї сталі є те, що вона не втрачає своєї твердості і міцності навіть при 600 °C.

Хромо-нікелева сталь із вмістом 18 % *Cr* і 8 % *Ni* в атмосфері повітря не піддається корозії. Цю сталь називають нержавіючою.

Знання хімічного складу, структури та впливу легуючих елементів дозволяє об'єктивно оцінити експлуатаційні властивості сталей, їх раціональне застосування і призначити необхідну термічну обробку.

Як відмічалось раніше бурове та нафтогазовпромишлеве обладнання працює у важких експлуатаційних, а деколи екстремальних умовах. Крім того, слід відмітити велику групу деталей та вузлів обладнання, які є надзвичайно важливими і відповідальними в конструкції і відмова яких може привести до непередбачуваних негативних наслідків: важкого травматизму, економічних втрат, екологічного забруднення, втрати свердловини, відкритого фонтанування та ін.

Для прикладу у 80-х роках минулого століття при освоєнні Астраханського газоконденсатного родовища виникла проблема корозійної стійкості свердловинного і устьового обладнання. Газ даного родовища, що містив 18 – 25 % сірководню (H_2S), безпосередньо контактував з устьовим обладнання і приводив його до корозійного руйнування (сульфідного розтріскування або загальної корозії в залежності від характеру напруженого стану деталей обладнання).

Для даних умов експлуатації були розроблені і рекомендовані спеціальні марки конструкційних легованих сталей.

Леговані конструкційні сталі використовуються для виготовлення деталей, до яких пред'являють вимоги високої міцності, а також спеціальні вимоги: зносостійкості, термостійкості, корозійної стійкості, в'язкості та інші. Деталі, виготовлені з легованих сталей, як правило, зміцнюють термообробкою або хіміко-термічною обробкою.

Як легуючі елементи в сталях використовують: хром – Х, нікель – Н, вольфрам – В, кремній – С, марганець – Г, молібден – М, ванадій – Ф, азот – А, титан – Т, бор – Р, алюміній – Ю. Легуючі елементи можуть бути присутні в сталях як поодиночі, так і в комбінації з іншими.

Практикою нафтогазового машинобудування набутий великий досвід використання легованих сталей.

Запитання для контролю знань

1. Суть зміцнення сталі при легуванні.
2. Які легуючі елементи здатні утворювати з вуглецем карбіди, а які – ні?
3. Класифікація легованих сталей за призначенням; назвіть галузі застосування цих сталей.
4. Охарактеризуйте класифікацію легованих сталей за вмістом легуючих компонентів. Приведіть приклади марок легованих сталей.
5. Приведіть приклади конструкційних легованих сталей. Галузі їх застосування.
6. Які із сталей відносяться до інструментальних? Приведіть приклади інструментальних сталей для ріжучого і вимірювального інструменту. Назвіть, існуючі галузі застосування швидкорізальної сталі.
7. Наведіть властивості і галузі застосування металокерамічних матеріалів.

ТЕМА 6 ЧАВУНИ

Чавун — сплав заліза з вуглецем (понад 2% вуглецю за масою) та іншими елементами. Найдавніші артефакти, виготовлені з чавуну, були знайдені на території східної частини сучасного Китаю і відносяться до 5 ст. до н. е. У Китаї одержували чавун з високо фосфористих залізних руд, тому він містив до 7 % фосфору і мав низьку температуру плавлення.

Чавун не піддається куванню через свою ламкість і спочатку його вважали небажаним відходом виробництва, утворення якого зменшувала вихід придатного продукту — криці. Перший європейський чавун виплавляли наприкінці XIV ст. Лише згодом з чавуну навчилися робити відливки і почали використовувати його в ливарництві. Ще пізніше навчилися повторно переплавляти його з рудою й отримувати з нього ковке залізо.

Основним способом отримання чавуну є доменне виробництво. У відносно незначній кількості також одержують чавун у електричних печах зі сталевих відходів з додаванням карбюризаторів.

Чавун при доменному виробництві одержують із залізорудної сировини в спеціальних вертикальних печах.

6.1 Види чавунів

Чавуни, які виплавляють у доменних печах поділяють на:

- переробні, які використовуються для виробництва сталі;
- ливарні, які використовуються для одержання виливків у ливарних цехах машинобудівних чи ливарних заводів. Частка цих чавунів не перевищує 10 %.

Широке застосування чавунів у машинобудуванні пояснюється порівняно невеликою вартістю й добрими технологічними властивостями чавунів — високою рідко-текучістю й незначною (~ 1 %) усадкою під час кристалізації та наступного охолодження, здатністю легко оброблятися різанням, можливістю зміни властивостей термообробкою й легуванням. Найкращі ливарні властивості мають евтектичні чавуни, оскільки в них менший температурний інтервал кристалізації.

Залежно від хімічного складу та умов кристалізації карбон у чавунах може кристалізуватися як у вільному стані у вигляді графіту, так і у вигляді сполуки Fe_3C . Залежно від стану карбону в чавунах, їх класифікують на білі та машинобудівні чавуни.

6.1.1 Білий чавун

У білих чавунах весь вуглець перебуває в цементиті. Завдяки цементиту такі чавуни мають білий блискучий злам, від кольору якого і походить їх назва. Завдяки твердому цементиту, кількість якого збільшується зі збільшенням вмісту карбону, білі чавуни мають високу твердість (450...550 НВ), дуже крихкі, практично не підлягають різанню лезовим інструментом. Тому в машинобудуванні білі чавуни мають обмежене застосування. Їх використовують тільки як зносотривкий матеріал для відливання деталей насосів, доменних печей, кульових млинів для розмелювання каміння. З виливків білого чавуну отримують ковкі чавуни.

6.1.2 Машинобудівні чавуни

Машинобудівні чавуни відливають за таких умов, що забезпечують повну або часткову графітизацію – виділення графіту. Тому властивості цих чавунів визначаються не тільки структурою металевої основи (ферит, перліт), але й формою, розмірами, кількістю й характером розташування в основі графітних виділень. Виливки з цих чавунів добре обробляються різанням й не підлягають обробці тиском.

6.1.3 Чавуни з пластинчастим графітом

Виливки з чавунів з пластинчастим графітом одержують безпосередньо заливанням розплавленого металу в ливарні форми. Графіт під час кристалізації формується у вигляді вигнутих пелюсток, пластинок. Такий графіт називають пластинчастим. Наявність у структурі вільного графіту зумовлює матовий сірий колір зламу, від якого походить інша назва цих чавунів – сірі чавуни. Пластинчастий графіт порушує суцільність металевої основи, створює на краях пелюсток зони сильної концентрації напружень, і тому сірі чавуни характеризуються низькою міцністю на розтягування, згинання, скручування й дуже низькою пластичністю. Максимальна границя міцності на розтягування цих чавунів не перевищує 450 МПа. За ГОСТ 1412-85 марки чавунів з пластинчастим графітом позначаються літерами СЧ (С – сірий, Ч – чавун) і числами, які відповідають мінімально допустимим значенням границі міцності на розтягування σ_b у МПа $\cdot 10^{-1}$ (наприклад СЧ 35).

Їх рекомендується використовувати для виробів, що підлягають переважно стисканню. Та завдяки пластинчастому графіту в сірих чавунах вдало поєднуються добрі антифрикційні властивості, зносотривкість, здатність гасити вібрації та мала чутливість до концентраторів напружень. З них відливають різні деталі для машин, махові колеса, шків, плити, станини та столи верстатів, корпуси електродвигунів тощо.

6.1.4 Чавуни з кулястим графітом

Чавуни з кулястим графітом, як порівняти з іншими чавунами, мають вищу пластичність, ударну в'язкість й одночасно міцність (за що їх називають високоміцними), що насамперед зумовлено кулястою формою графіту. За ДСТУ 3925-99 умовне позначення марки містить літери ВЧ (В – високоміцний, Ч – чавун), цифрове позначення мінімального допустимого значення границі міцності на розтягування σ_b у МПа та через дефіс – відносне видовження δ у відсотках. Максимальну міцність має чавун марки ВЧ 1000–2. З чавуну виготовляють розподільні й колінчасті вали, блок-картери, головки циліндрів, шатуни, поршні, поршневі кільця в автомобілебудуванні; супорти, шпинделі, зубчасті колеса у верстатобудуванні; плити гідравлічних пресів, напрямні та плунжери ливарних машин, напірних труб для води, нафти, агресивних рідинних та газових середовищ.

6.1.5 Чавуни з вермикулярним графітом

Чавуни з вермикулярним графітом також одержують модифікуванням магнієм, тільки в меншій кількості, що зумовлює утворення вермикулярного графіту у формі графітних пелюсток із заокругленими краями, менших розмірів та грубіших як порівняти з пластинчастим графітом. Марки цих чавунів позначають подібно як і високоміцних, наприклад *ЧВГ 400–4*. За однакової структури металевої основи механічні властивості чавунів з вермикулярним графітом проміжні між властивостями сірих з пластинчастим та високоміцних з кулястим графітом. Вони переважають сірі чавуни за пластичністю, ударною в'язкістю, корозійною тривкістю, герметичністю, а високоміцні – за здатністю гасити вібрації, оброблятися різанням, меншою вартістю.

6.1.6 Ковкі чавуни

Ковкі чавуни одержують шляхом тривалого відпалу виливків з білого мало-вуглецевого (2,4...2,9 % C) чавуну. Відпал при високій температурі спричиняє розкладання метастабільного цементиту з утворенням графіту компактної форми з кошлатими краями, так званого *графіту відпалу*. За впливом на механічні властивості чавуну такий графіт займає проміжне положення між пластинчастим і кулястим графітом. Структура металевої основи ковких чавунів – від феритної до перлітної – залежить від хімічного складу та режиму термічної обробки виливків з білого чавуну.

За ГОСТ 1215-79 марки ковких чавунів позначають літерами КЧ (К – ковкий, Ч – чавун), після яких вказуються мінімально допустимі значення границі міцності на розтяг у МПа·10⁻¹ й через дефіс – відносного видовження у відсотках (наприклад, *КЧ 30–6*).

Істотним недоліком виробів з ковких чавунів є висока вартість внаслідок тривалого високотемпературного відпалу та обмеження розмірів. Недоліки чавунів – невисока в порівнянні з сталями міцність, крихкість, чутливість до ударних навантажень, низька зварюваність. Вказані вище недоліки чавунів є причиною їх обмеженого використання в конструкціях бурового і нафтогазопромислового обладнання. Чавуни можуть використовуватися для виготовлення станин бурових насосів, корпусів запірних пристроїв на невисокий тиск, клинопасових шківів, корпусів насосів невисокого тиску, опорних вузлів, тощо. Широкого використання в нафтогазовому машинобудуванні набули сірі чавуни. Наприклад, шківни клинопасових передач бурових установок виготовляють з чавунів *СЧ-12–28*, *СЧ-15–36*, вхідну кришку насоса ЦНС 180–1900 виготовляють з чавуна *СЧ-21–40*.

Запитання для контролю знань

1. Вплив домішок на властивості чавуну. В чому суть класифікації чавуну за структурою?
2. У чому відмінність білого чавуну від сірого чавуну? Чому для виготовлення деталей машин білі чавуни застосовують рідко?
3. Що таке ковкий чавун і як його отримують? Де він застосовується?
4. Приведіть класифікацію чавунів за структурою металевої основи. Охарактеризуйте чавуни марок *Сч18*, *Кч45*, *Вч40*, *АЧС–2*.

ТЕМА 7 КОЛЬОРОВІ МЕТАЛИ І СПЛАВИ

7.1 Мідь та основні сплави на її основі

7.1.1. Латуні

Мідь належить до металів неперехідних груп, має кристалічну ґратку ГЦК. Мідь має найвищу електро- і теплопровідність із усіх металів, поступаючись тільки сріблу. Чим вище чистота міді, особливо за змістом елементів, з якими вона утворює тверді розчини, тим вище її електропровідність. Чиста мідь характеризується невисокою міцністю ($\sigma_b = 220$ МПа) при дуже високій пластичності ($\delta = 45 - 50$ %). Пластичність при нормальних температурах залежить від вмісту домішок – сірки і кисню, які утворюють у міді частки включень сульфідів (Cu_2S) і оксидів (Cu_2O) відповідно. При температурі гарячої деформації евтектики міді зі свинцем або з вісмутом розплавляються, і тоді виникає явище *горячеломкості*. Присутність вісмуту надає міді *крихкість* при знижених температурах, оскільки сам вісмут має крихкість. У міді, що містить кисень у вигляді оксидів або у твердому розчині, при нагріванні виникають тріщини на поверхні, так звана «воднева хвороба». Це явище пов'язане із виходом з міді водяної пари, що утворилася по реакції водню з киснем. Для зниження вмісту кисню використовують метод вакуумної плавки.

Міцність міді може бути збільшена у результаті холодної пластичної деформації (більше 60 – 70 %), що призводить до зміцнення до рівня $\sigma_b \approx 450$ МПа, але при цьому, природно, сильно знижується пластичність ($\delta \leq 5\%$). Відпал рекристалізації міді зазвичай проводять при 300 – 350 °С.

Сплави міді з цинком називають *латунями*; за винятком сплавів з нікелем, всі інші її сплави називають *бронзами*.

Латуні позначають буквою **Л** і цифрою, що вказує масовий вміст міді у сплаві в процентах (наприклад, Л96, Л59). Якщо латунь легована поряд із цинком іншими елементами, то після букви **Л** ставлять умовне позначення цих елементів: **С** – свинець, **О** – олово, **Ж** – залізо, **А** – алюміній, **К** – кремній, **Мц** – марганець, **Н** – нікель. Числа після букв показують масовий вміст легуючого елемента, крім цинку (наприклад, ЛМцЖ55-3-1 містить ~ 55% *Cu*, 3% *Mn*, 1% *Fe*, *Zn* – залишок).

Як уже зазначалося, основний легуючий елемент в латуні – цинк. При його вмісті до 39 % сплави є однофазними і складаються з α - твердого розчину цинку в міді (рис. 7.1).

У техніці застосовують латуні, що містять до 43 % цинку, оскільки при подальшому збільшенні цинку в сплаві міцність латуні зменшується, а крихкість збільшується (рис. 7.2). У порівнянні з міддю латуні мають більшу міцність, твердість, пластичність, високу корозійну стійкість і вологотекучість.

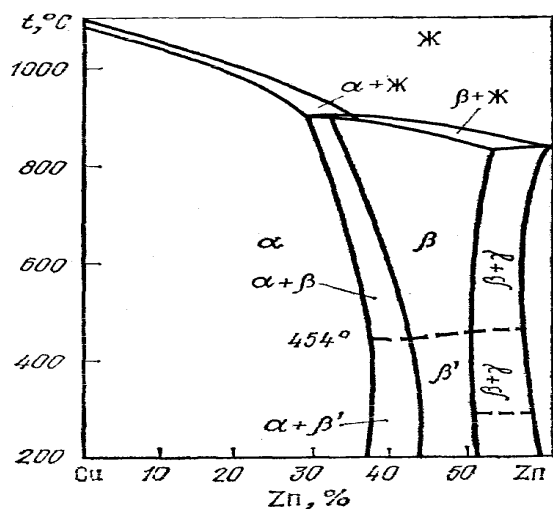


Рисунок 7.1 – Діаграма стану Cu – Zn

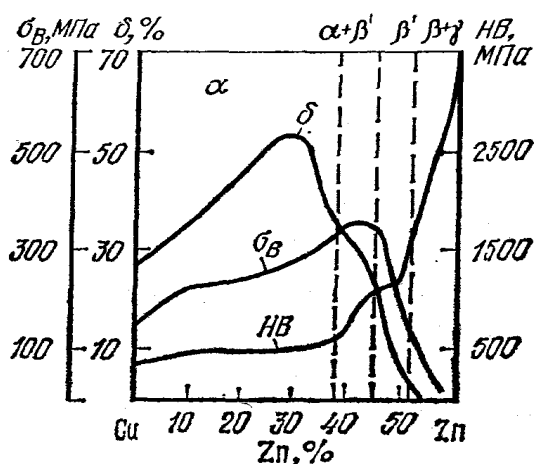


Рисунок 7.2 – Залежність властивостей латуней від вмісту Zn

У складних (спеціальних) латунях загальний вміст додаткових легуючих компонентів не перевищує 7 – 9 %; всі вони (крім свинцю) збільшують міцність, але зменшують пластичність сплавів. Додавка свинцю покращує антифрикційні властивості і різанням. Латуні поділяють на деформуються і ливарні.

7.1.2 Бронзи

Бронзи маркують буквами **Бр**, потім вказують основні легуючі елементи та їх зміст у сплаві. Так *БрОЦС6–6–3* містить 6 % *Sn*, 6 % *Zn* і 2 % *Pb*, *Cu* – залишок. Позначення елементів у бронзах такі, що і при маркуванні латуней. Крім того, фосфор позначають буквою **Ф**, цинк – **Ц**, хром – **Х**, берилій – **Б**, цирконій – **Цр**.

Олов'яні бронзи за структурою бувають однофазними (α – твердий розчин олова в міді) і двофазними, що складаються з α – і δ – ($Cu_{31}Sn_8$) фаз.

δ фаза виділяється при вмісті олова 7 – 9 %. Вона підвищує твердість і крихкість бронз. Олов'яні бронзи характеризуються високими антифрикційними властивостями, корозійною стійкістю, низькою ливарною усадкою. Через зростаючу крихкість при збільшенні олова в промисловості застосовують бронзи, містять до 10 – 12 % *Sn*.

Олов'яні бронзи застосовують для лиття художніх виробів. При додатковому легуванні фосфором їх використовують для виготовлення деталей, що працюють на тертя в корозійній середовищі: підп'ятники, підшипники, що ущільнюють втулки, пояски поршневих кілець, клапани.

Алюмінієві бронзи можуть бути як подвійними (наприклад, *БрА5*), так і додатково легуваними нікелем, марганцем, залізом і ін. Бронзи, що містять до 4 – 5% *Al*, характеризуються високою пластичністю. Двофазні сплави мають більш високу міцність, але знижену пластичність у порівнянні з однофазними. Алюмінієві бронзи добре обробляються тиском, корозійностійкі, мають високі механічні властивості, хороші ливарні властивості, однак при литті утворюються

усадкові раковини. Із високоміцних алюмінієвих бронз виготовляють шестерні, втулки, підшипники, пружини, деталі електроустаткування.

Берилієві бронзи мають високі механічні (зокрема, пружні) властивості, стійкість проти корозії і задовільну електро- і теплопровідність, добре зварюються. Широко відомі бронзи, що містять 1,6 – 2,6 % *Be*, 0,2 – 0,5 % *Ni*, 0,1 – 0,25 % *Ti* (*БрБ2*; *БрБ2,5*; *БНТ-1,9*, *БНТ-1*) цифри вказують вміст берилію % (за масою).

Є ще класи *кременистих бронз*, *хромових*, *цирконієвих бронз*, які отримали менше поширення.

7.2 Алюмінієві сплави

Алюміній – метал сріблясто-білого кольору з малою щільністю $2,7 \text{ г/см}^3$ і невисокою температурою плавлення 660°C . Він кристалізується в ГЦК грати, не має поліморфних перетворень, має високу теплопровідність, електропровідність і пластичність.

За чистотою первинний алюміній ділиться на три класи: особливої чистоти А999 (99,999 % *Al*, а сума всіх домішок не більше 0,001 %); високої чистоти А995, А99, А97, А95 (99,995 – 99,95 % *Al*) і технічної чистоти А85, А8, А7, А6, А5, АТ (99,85 – 99,0 % *Al*).

Алюміній – хімічно активний метал, проте він має достатню корозійну стійкість внаслідок утворення на поверхні щільної оксидної плівки Al_2O_3 . Вона дуже добре зчіплюється з металом і малопроникна для всіх газів. Алюміній стійкий до концентрованої азотної кислоти і деяких органічних кислот. Соляна, плавикова та інші кислоти, а також луги руйнують алюміній. Чим чистіше алюміній, тим вище його корозійна стійкість. Механічні властивості чистого алюмінію невисокі: $\sigma_{\text{в}} = 60\text{--}130 \text{ МПа}$, $\delta = 5\text{--}28\%$.

7.2.1 Класифікація і маркування алюмінієвих сплавів

В якості основних легуючих елементів в алюмінієвих сплавах застосовують *Cu*, *Mg*, *Si*, *Mn*, *Zn*; рідше *Ni*, *Li*, *Ti*, *Be*, *Zr* тощо. Більшість легуючих елементів утворюють з алюмінієм тверді розчини обмеженої розчинності і проміжні фази з алюмінієм і між собою (*CuAl*, *Mg*, *Si*).

Всі сплави алюмінію можна розділити на три групи:

- 1) деформуємі сплави незміцнені та зміцнені термічною обробкою,
- 2) ливарні сплави;
- 3) сплави, одержувані методом порошкової металургії (САП – спечені алюмінієві порошки, САС – спечені алюмінієві сплави).

7.2.2 Маркування алюмінієвих сплавів

У даний час прийнята змішане літерне і буквено-цифрове маркування алюмінієвих сплавів. Наприклад, деформуємі сплави позначаються буквами Д, АД, АК, АМ, АВ; ливарні – АЛ. Буквою Д позначають сплави дуралюмінія - Д1, Д16 тощо. Букви АВ означають сплав Авіаль. Букви АМг і АМц позначають сплав алюмінію з магнієм (Мг) і марганцем (Мц), причому цифри, наступні за буквами АМг1; АМг6 відповідають зразковому вмісту магнію в цих сплавах. Букви АТ відповідають деформованому алюмінію, цифра вказує чистоту алюмінію. Деякі кувальні сплави позначені буквами АК (алюміній кувальний) – сплави АК4-1, АК6, АК8 тощо. Таке маркування алюмінієвих сплавів не відрізняється системністю та одноманітністю. Тому в даний час вводиться єдине чотирицифрове маркування алюмінієвих сплавів. Перша цифра позначає основу всіх сплавів. Алюмінію присвоєна цифра один. Друга цифра характеризує головний легуючий елемент або групу головних легуючих елементів. Третя цифра або третя з другою відповідають старому маркуванню. Четверта цифра – непарна (включаючи 0) вказує, що сплав деформується. Так, сплав Д16 маркують 1160, Д19 – 1190. Експериментальні сплави позначають цифрою 0, яка ставиться попереду одиниці, тобто для експериментальних сплавів як виняток застосовується п'ятизначне маркування. Наприклад, сплав марки 01420. Ця цифра виключається з маркування, коли сплав стає серійним. Ливарні сплави мають останню парну цифру. Металокерамічний спосіб виробництва характеризується останньою цифрою 9, дрітоті сплави позначають цифрою 7.

Чистота сплавів позначається наступними літерами, що стоять після маркування сплаву: Пч, Ч, Оч – відповідно практично чистий, чистий і дуже чистий, по домішках заліза, кремнію та інших контрольованих елементів. Стан напівфабрикатів з алюмінієвих сплавів позначається таким маркуванням: М – м'який, відпалений; Т – загартований і природно зістарений; Т1 – загартований і штучно зістарений; Н – загартовані; Н1 – посилено нагартована (нагартовка листа ~ 20%) тощо.

7.2.3 Деформовні алюмінієві сплави

Деформовні сплави, що не зміцнюються термічною обробкою

До цієї групи належать сплави алюмінію з марганцем (сплави АМц) і магнієм (сплави АМг). Сплави можуть упрочнятися тільки холодною пластичною деформацією. Їх застосовують для ємностей, бензо- і маслопроводів, а також для заклепок.

$$\sigma_{\text{в}} = \text{від } 130 \text{ до } 430 \text{ МПа}, \quad \sigma_{0,2} = \text{до } 300 \text{ МПа}, \quad \delta \text{ порядку } 10 - 20 \, \%.$$

Деформовані алюмінієві сплави, зміцнені термічною обробкою

Основними в цій групі є сплави систем алюмінію з міддю, магнієм, марганцем, кремнієм, літієм і берилієм: *Al-Cu-Mg* (Д16, Д19 та ін.); *Al-Zn-Mg-Cu* (В93, В95, В96 та ін.); *Al-Cu-Mg-Mn-Si* (АК6, АК8); *Al-Be* і *Al-Be-Mg*.

Сплави системи Al-Cu-Mg

Сплави на основі цієї системи з добавками марганцю, названі *дуралюмін*, мають широкий інтервал міцності властивостей від середніх до високих. Дуралюміни марок Д16 і Д19 застосовують в авіації.

Марганець введений у дані сплави для підвищення їх корозійної стійкості, а титан (до 0,1 %) в сплав Д19 – для подрібнення зерна.

Сплав Д16 при кімнатній температурі відрізняється більш високою міцністю, ніж інші дуралюміни.

У порівнянні з чистим алюмінієм все дуралюміни відрізняються зниженою корозійною стійкістю і потребують спеціальних засобів захисту від корозії. Застосовують в основному два способи захисту: покриття дуралюміна технічним алюмінієм (марок А7 і А8) і електрохімічне оксидування (анодування). При анодуванні (наприклад, в сірчаній кислоті) поверхню виробів покривають більш щільною і товстою, ніж в природних умовах, захисною оксидною плівкою Al_2O_3 . Дуралюміни на основі системи *Al-Cu-Mg* характеризуються низькою технологічністю при литті та обробці тиском (необхідне застосування малих швидкостей деформації) і вимагають використання вузького інтервалу температур нагрівання під загартування. Сплави відносяться до категорії незварюваних плавлень через високу схильність до утворення кристалізаційних тріщин.

Сплави системи Al-Zn-Mg-Cu

Сплави цієї системи є найміцнішими серед алюмінієвих сплавів. Міцність цих сплавів досягає 500 – 700 МПа, але при меншій пластичності ($\delta = 8 - 10\%$), ніж у дуралюміна.

На відміну від дуралюміна в високоміцних сплавах (В93, В95, В96) після гарту виходить більш стабільний твердий розчин. Тому сплави застосовують тільки після штучного старіння. Загартування проводять з 460-470 °С у холодній або підігрій (до 80-100 °С) воді. Нагріта вода необхідна при загартуванні великогабаритних профілів і штамповок, щоб уникнути їх розтріскування.

Сплав В95 є найбільш універсальним конструкційним матеріалом. Він застосовується для виготовлення всіх видів деформованих напівфабрикатів: листів, плит, профілів, труб, поковок і штамповок. Пресовані профілі зі сплаву В95 значно міцніші, ніж листи. По міцності при нормальній температурі сплав В95 значно перевершує дуралюміни.

Сплав В96ц – найбільш високолегований і найміцніший з усіх деформівних алюмінієвих сплавів. Однак він поступається сплаву В95 в пластичності і корозійної стійкості, опорі повторним статичним навантаженням, в більшій чутливості до надрізів і інших концентраторів напружень. Низька пластичність сплаву В96ц дозволяє застосовувати його тільки для виробництва горячедеформованих напівфабрикатів (профілів, труб, штамповок). Для виробів із сплавів В96ц і В95 застосовують аналогічні режими термічної обробки.

Високоміцні сплави В93, В95, В96 мають ряд суттєвих недоліків у порівнянні з дуралюміном Д16. Вони більш чутливі до концентраторів напруг, мають меншу в'язкість руйнування, і характеризуються різким зниженням міцності при підвищенні температури понад 120 °С.

7.2.4 Жароміцні сплави алюмінію

Жароміцні сплави алюмінію мають більш складний хімічний склад, ніж інші алюмінієві сплави. Підвищення жароміцності сплавів типу дуралюмін – Д16, ВД17, ВАД2 було досягнуто шляхом збільшення вмісту в них магнію, а сплавів Д20 і Д21 – міді. Крім того, застосовують спеціальні добавки титану, цирконію, заліза, нікелю та інших елементів, що позитивно впливають на жароміцність сплавів.

Механічні властивості жароміцних алюмінієвих сплавів:

$$\sigma_b = 420 - 440 \text{ МПа}, \sigma_{0,2} = 280 - 350 \text{ МПа}, \delta = 11 - 18 \text{ \%}.$$

Робоча температура 200-300 °С.

7.2.5 Ливарні алюмінієві сплави

Ливарні алюмінієві сплави повинні мати текучість, малу усадку, низьку схильність до утворення гарячих тріщин і пористості, а також високі механічні і корозійні властивості.

Кращі ливарні властивості мають сплави, що містять у своїй структурі евтектики. Евтектика забезпечує найбільшу волого-текучість при мінімальній пористості, мінімальній неоднорідності і мінімальному утворенню тріщин.

Як ливарні частіше застосовують сплави на основі систем *Al-Si*, *Al-Cu* і *Al-Mg*.

Найкращими ливарними властивостями і малою питомою вагою володіють сплави системи *Al-Si*, звані *силумінами* (АЛ2, АЛ4, ВАЛ5). Згідно діаграми стану *Al-Si* (рис. 7.3) евтектика ($\alpha + Si$) утворюється при 11,6 % *Si*.

Сплав АЛ2, що містить 10-13 % *Si*, практично цілком складається з евтектики, має найкращі ливарні властивості і застосовується для дрібного і тонкостінного лиття (деталей агрегатів і приладів). Термічною обробкою не зміцнюється. Для поліпшення механічних властивостей сплаву АЛ2 його піддають модифікації шляхом введення в рідкий сплав перед розливанням ~ 1% суміші солей фтористого і хлористого натрію. Модифікування викликає переохолодження і збільшення вмісту кремнію в евтектиці.

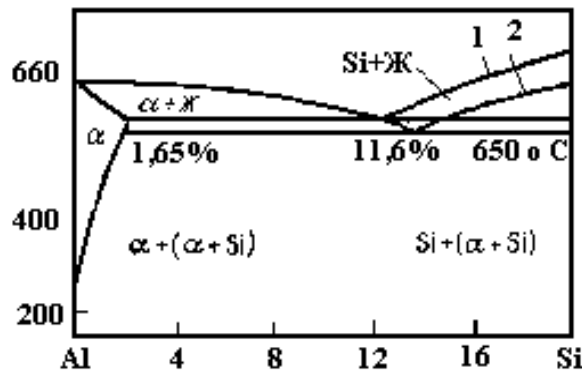


Рисунок 7.3 – Діаграма стану системи Al–Si:
1 – немодифіковані сплави, 2 – модифіковані сплави

В результаті структура евтектики подрібнюється і з'являються округлі зерна пластичних кристалів твердого розчину кремнію в алюмінії. При цьому в 1,5 рази підвищується міцність і в 2-3 рази відносно подовження.

Механічні властивості ливарних сплавів нижче в порівнянні з деформуємими ($\sigma_y = 180 - 330$ МПа, $\sigma_{0,2} = 80 - 280$ МПа, $\delta = 3 - 6\%$), особливо низькі показники пластичності й в'язкості.

Сплави ВАЛ5, АЛ27 і АЛ32 відносяться до високоміцних ливарних сплавів.

7.2.6 Спечені алюмінієві сплави типу САП і САС

САП (спечений алюмінієвий порошок або спечена алюмінієва пудра) – алюміній, зміцнений частинками оксиду алюмінію. Отримують САП шляхом холодного, а потім гарячого брикетування при 500-600 °С тонкого окисленого алюмінієвого порошку (пудри) і подальшої деформації (прокатці, куванні, пресуванні) гарячепресованих брикетів. Пудра має форму лусочок товщиною менше 1 мкм.

Зі збільшенням вмісту оксиду алюмінію межа міцності підвищується від 300-320 для САП1 і до 440-460 МПа для САП4. Відносне подовження відповідно знижується від 5-8 % до 1,5-2 %.

Найважливішою властивістю САП є підвищена жароміцність в порівнянні з усіма деформуються алюмінієвими сплавами. Причому його властивості майже не змінюються в залежності від тривалості експлуатації. Наприклад, 100-годинна тривала міцність САП при 500 °С дорівнює 450-550 МПа, тоді як жароміцні деформуються і ливарні алюмінієві сплави при температурах вище 350 °С взагалі довго не працюють.

САС (спечені алюмінієві сплави) отримують гарячим брикетуванням із наступним пресуванням при температурі ~ 500 °С порошоків окислених алюмінієвих сплавів.

Сплави САС-1 (25-30 % Si, 5-7 % Ni) і САС-2 (25-30 % Si, 5-7 % Fe) володіють низьким коефіцієнтом лінійного розширення і застосовуються для виготовлення окремих деталей приладів замість більш важких сталей.

САС-1 характеризується задовільним межею міцності (220-240 МПа), межею плинності (210-230 МПа) і низьким відносним подовженням (0,5 %).

Із САП і САС виготовляють обшивку, диски і лопатки компресорів і деталі, що працюють тривалий час при 300-500 °С і короткочасно при 700-900 °С.

7.2.7 Надлегкі алюміній-літієві сплави

Сплави системи $Al-Li$ мають високу питому міцність з високою питомою модулем пружності, тому вони можуть різко знизити вагу і вартість виробів, особливо авіаційних.

Крім надзвичайно токсичного берилію, літій є єдиним легуючим елементом, вміст якого в сплаві зменшує щільність сплаву і збільшує модуль пружності. Кожен відсоток вмісту літію в алюміній-літієвому сплаві знижує його щільність на 2 % і підвищує модуль пружності на 6 %. Щільність таких сплавів становить 2540-2560 кг/м³, щільність літію 530 кг/м³.

Типовий алюміній-літієвий сплав на 10 % легше і на 10 % жорсткіше традиційного алюмінієвого сплаву. Вартість $Al-Li$ сплавів у 2,5 рази перевищує номінальну вартість традиційних алюмінієвих сплавів.

Алюміній-літієві сплави з часом замінять більшість сплавів, використовуваних зараз у будівництві літаків, і відсоток використання алюміній-літієвих сплавів може перевершити відсоток використання композиційних матеріалів.

Вперше алюмінієві сплави системи мідь-літій були розроблені у нас в країні (сплав ВАД23) і за кордоном (сплав 2020) із низьким вмістом літію (1,1%). Однак ці сплави, також як і сплави системи алюміній-магній-літій мали або недостатню міцність, або низькі значення в'язкості руйнування і пластичності.

У даний час $Al-Li$ сплави отримують методом лиття, коли легуючі елементи розчиняють в розплаві алюмінію і з отриманого сплаву ллють злитки. Такий процес обмежує вміст літію трьома відсотками. Більш високий вміст літію і, отже, більш низька щільність можна досягти порошкової металургією. Порошкова металургія алюміній-літієвих сплавів дозволяє підвищувати вміст літію до 5 % і знизити щільність сплаву на 14 %, забезпечивши при цьому поєднання високої міцності, корозійної стійкості та здатності сплаву працювати при температурах до 250 °С.

Відповідно до рівноважної діаграми стану бінарної системи $Al-Li$ розчинність літію в твердому стані в алюмінії при 600 °С досягає 6 %, при кімнатній температурі 1 %.

Літій з алюмінієм утворює стабільну d -фазу ($Al-Li$, $AlLi_2$), метастабільну впорядковану d' -фазу ($AlLi$) при старінні 20-160 °С. Виділення δ' -фази в $Al-Li$ сплаві супроводжується зниженням пластичності.

Добавки цирконію в сплави системи $Al-Li$ подрібнюють зерно і підвищують стійкість до корозії. Марганець також подрібнює зерно і збільшує корозійну стійкість, але в меншій мірі, ніж цирконій. Крім того, марганець

знижує температуру солідусу. Кремній збільшує межа плинності сплаву, зменшує схильність до охрупчівання.

Сплав *01420* (містить від 0,1 до 2 % *Li*) – найлегший з усіх алюмінієвих сплавів, його щільність 2500 кг/м³. Модуль пружності сплаву – 76000 МПа на відміну від модуля пружності традиційних сплавів типу *Д16* (72000 МПа). Широке застосування сплаву *01420* замість сплаву *Д16* в конструкціях знижує масу від 13 % до 20 %.

Сплав *01420* володіє задовільною корозійною стійкістю. Він зварюється усіма видами зварювання. Міцність зварного з'єднання становить у порівнянні з міцністю основного матеріалу 84 %. Повторна термічна обробка сплаву після зварювання дає 100 %-ву міцність. Сплав *01420* гартують із 450°C охолодженням у воді або на повітрі з наступним штучним старінням при 120 °C 12 год. Загартування з охолодженням на повітрі забезпечує високу корозійну стійкість, гарт у воді – отримання більш високих характеристик пластичності.

Алюміній–літієві сплави досить технологічні. Вони добре деформуються в гарячому стані, швидко зміцнюється при холодній деформації, добре пресуються, штамнуються і обробляються різанням. Технологія отримання нових сплавів мало відрізняється від технології виробництва традиційних сплавів.

Бабіти – сплави на основі м'яких металів – олова, свинцю, алюмінію та інших. Бабіти – це високоякісний антифрикційний підшипниковий матеріал. Вони добре обробляються, мають високу теплопровідність, здатні утримувати мастило. Бабітові підшипники ковзання можуть працювати в режимі високих швидкостей і великих контактних навантажень.

Типовим прикладом використання бабітів є конструкція підшипникових вузлів насоса типу ЦНС, що використовується в системі підтримання пластового тиску.

Запитання для контролю знань

1. Охарактеризуйте властивості міді і вплив на них домішок.
2. Види латуні і бронзи, властивості цих сплавів і галузі їх застосування.
3. Приведіть характеристику властивостей алюмінію і вкажіть вплив на них домішок.
4. Який сплав називають силуміном? Поясніть вплив модифікування на структуру і механічні властивості силуміну. Вкажіть галузі застосування силумінів.
5. Які алюмінієві сплави відносяться до сплавів, що деформуються? Суть процесу старіння дюралюмінію.
6. Назвіть види алюмінієвих сплавів, що деформуються, їх марки, властивості і галузі застосування.
7. Назвіть види сплавів на магнієвій основі, їх марки, основні властивості і галузі застосування.
8. Властивості титану і вплив на них домішок. Де застосовується титан?
9. Назвіть марки титанових сплавів, їх властивості і галузі застосування.

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2 КОНСТРУКЦІЙНІ СТАЛІ ТА СПЛАВИ

ТЕМА 8. КЛАСИФІКАЦІЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

8.1 Розвиток конструкційних матеріалів

Тривалий період у своєму розвитку людство використовувало для власних потреб (знаряддя праці і мисливства, начиння, прикраси тощо) досить обмежений перелік матеріалів: дерев'яні, кам'яні, волокна рослинного і тваринного походження, випалену глину, скло. Промислова революція XVIII ст. і подальший розвиток техніки ускладнили вимоги до матеріалів для обладнання, яке працює у складних умовах. Основою конструкційних матеріалів стали металеві сплави, до яких відносились сплави на основі заліза, свинцю і олова та кольорові метали).

При конструюванні літальних апаратів, коли головною вимогою, що ставиться до конструкційних матеріалів, стала висока міцність, поширення набули фанера, низьколеговані сталі, сплави на основі алюмінію. Подальший розвиток реактивної та ракетної техніки став вимагати створення нових сплавів на нікелевій і кобальтовій основах, сталей, титанових, алюмінієвих, магнієвих сплавів, придатних до роботи при високих температурах.

Удосконалення техніки на кожному етапі розвитку висуває все складніші вимоги до конструкційних матеріалів (температурна стійкість, зносостійкість, електрична провідність тощо) та стимулює створення нових матеріалів. Наприклад, суднобудуванню потрібні сталі та сплави із доброю зварюваністю і високою корозійною стійкістю, а хімічному машинобудуванню – з високою стійкістю до агресивних середовищ.

Для багатьох областей техніки є необхідними конструкційні матеріали, що характеризуються високими електричними, теплозахисними, оптичними та іншими властивостями.

8.2 Класифікація конструкційних матеріалів

Конструкційні матеріали поділяються:

- за природою матеріалів — на металеві, неметалеві та композиційні, що поєднують позитивні властивості двох попередніх;
- за технологією виробництва — на деформовані (прокат, поковки, штамповки, пресовані профілі тощо), ливарні, спечені, формовані, клеєні, зварні;
- за умовами роботи — на ті, що працюють при низьких температурах, жароміцні, корозіє-, окалино-, зносо-, паливо-, маслостійкі тощо;
- за критеріями міцності — на матеріали малої і середньої міцності з великим запасом пластичності, високоміцні з помірним запасом пластичності.

8.3 Металеві конструкційні матеріали

Металеві конструкційні матеріали поділяють на чорні метали (сталі та чавуни) та сплави кольорових металів (алюмінієві, магнієві, титанові, мідні, нікелеві, молібденові, вольфрамові тощо).

До конструкційних матеріалів належить більшість марок *сталей*. Виняток становлять сталі, які не використовуються в силових елементах конструкцій: інструментальні, сталі для нагрівальних елементів, для присадного дроту (при зварюванні), матеріали з особливими фізичними та технологічними властивостями. Сталі становлять основний обсяг конструкційних матеріалів, що знайшли застосування у техніці. Вони відрізняються широким діапазоном міцності — від 200 до 3000 МН/м², пластичність сталей досягає 80 %, ударна в'язкість — до 3 МДж/м².

Крім того, за методами зміцнення сталі класифікуються на: гартівні, покращувані, старіючі, цементовані, ціановані, азотовані тощо, а за структурою: аустенітні, феритні, мартенситостаріючі тощо.

Чавуни широко використовуються у машинобудуванні для виготовлення станин, циліндрів двигунів внутрішнього згорання, деталей, що працюють при температурі до 1200 °С в окиснювальних середовищах тощо. Міцність чавунів у залежності від легування становить від 110 МН/м² до 1350 МН/м².

Нікелеві та кобальтові сплави зберігають міцність до температур 1000...1100 °С. Застосовуються в авіаційних і ракетних двигунах, парових турбінах, апаратах, що працюють в агресивних середовищах тощо.

Міцність *алюмінієвих сплавів* становить: деформівних до 750 МН/м², ливарних до 550 МН/м², за питомою механічною жорсткістю вони значно перевершують сталі. Служать для виготовлення корпусів літаків, вертольотів, ракет, суден різного призначення.

Магнієві сплави відрізняються малою густиною (у 4 рази меншою, ніж у сталі), мають міцність до 400 МН/м² і вище; застосовуються переважно у вигляді литва в конструкціях літальних апаратів, в автомобілебудуванні, в текстильній і поліграфічній промисловості.

У ряді галузей техніки *титанові сплави* успішно конкурують зі сталями і алюмінієвими сплавами, перевершуючи їх за питомими міцністю та механічною жорсткістю, корозійною стійкістю. Сплави мають міцність до 1600 МН/м² і більше. Застосовуються для виготовлення компресорів авіаційних двигунів, апаратів хімічної та нафтопереробної промисловості.

8.4 Неметалеві конструкційні матеріали

До неметалевих конструкційних матеріалів відносяться пластики, кераміка, металокераміка, скло, гума, деревина тощо.

Неметалеві конструкційні матеріали поділяють за ізомерним складом, технологічним виконанням (пресовані, ткані, намотані, формовані тощо), за типами наповнювачів (армувальних елементів) і за характером їх розташування та орієнтації.

8.4.1 Полімерні композиційні матеріали

Особливістю є те, що матрицю утворюють різні полімери, арматура може бути у вигляді волокон, тканини, плівок. Формування полімерних композиційних матеріалів здійснюється пресуванням, литтям під тиском, екструзією, напиленням. Широке застосування знаходять змішані полімерні композиційні матеріали, куди входять металеві та полімерні складові, які доповнюють один одного за властивостями. Наприклад, підшипники, що працюють в умовах сухого тертя, виготовляють із комбінації фторопласта і бронзи, що забезпечує відсутність повзучості. Створені матеріали на основі поліетилену, полістиролу з наповнювачами у вигляді азбесту та інших волокон, що володіють високими міцністю і жорсткістю.

Пластики на основі термореактивних смол і фторопластів, армовані (зміцнені) скляними, кварцовими, азбестовими волокнами, тканинами чи стрічками, застосовують в авіації, ракетобудуванні, в енергетичному та транспортному машинобудуванні. Термопластичні полімерні матеріали-полістирол, поліметилметакрилат, поліаміди, фторопласти, а також реактопласти використовують в деталях електро- і радіообладнання, вузлах тертя, що працюють у різних середовищах. До основних пластмас, які використовуються в машинобудуванні відносяться: текстоліт, гетинакс, вініпласт, фторопласт, поліамід, поліпропилен, поліуритан та ін. При проектуванні бурового і нафтогазопромислового обладнання пластмаси слід використовувати в конструкціях, які працюють в умовах агресивного середовища (наприклад, робочі апарати відцентрових насосів для видобутку нафти, турбобурів), а також у вузлах ущільнення високого тиску (30-100 МПа).

8.4.2 Скло, кераміка

Мінеральне (силікатне, кварцове) скло — система, що складається з оксидів різних елементів, у першу чергу оксиду кремнію SiO_2 , що використовується для застосування будівель чи транспортних засобів.

Із *кераміки* виготовляють деталі, що працюють за високих температур. Основою цих матеріалів є порошки тугоплавких сполук типу карбідів, боридів, нітридів та оксидів. Наприклад: TiC , SiC , Cr_7C_3 , CrB , Ni_3B , TiB_2 , BN , TiN , Al_2O_3 , SiO_2 , ZrO_2 тощо.

У *металокерамічних матеріалах* основою є кераміка, у яку додається певна кількість металу, що є зв'язкою і забезпечує такі властивості, як пластичність і в'язкість.

8.4.3 Гума

Гума (лат. смола) — продукт вулканізації каучуку. Вона являє собою композиційний матеріал — гумову суміш, що містить до 15-20 інгредієнтів, які виконують різноманітні функції. *Гуми* на основі канчуків із додаванням сірки та інших елементів, зміцнені кордовими тканинами, використовуються для

виробництва автомобільних та авіаційних шин а також рухомих і нерухомих ущільнювачів. Залежно від умов експлуатації, в яких гума зберігає високо-еластичні властивості, розрізняють такі групи гум:

- загального призначення, що експлуатуються при температурах від 50 до 150 °С;
- теплостійкі, призначені для тривалої експлуатації при 150-200 °С;
- морозостійкі, придатні для тривалої експлуатації при температурі нижче 50 °С;
- масло- і бензостійкі;
- стійкі до дії агресивних середовищ;
- радіаційне стійкі (рентгенозахисні).

Натуральний каучук (НК) – полімер рослинного походження, вулканізацією якого одержують гуму. Латекс — молочно-біла рідина, що являє собою полідисперсну колоїдну систему, яка містить 34-37 % каучуку, 52-60% води, 2-2,7 % білків, 1,65-3,4 % ,смол, 1,5-4,2 % цукру П),2-0,7 % мінеральних солей. Склад латексу залежить від віку дерева, кліматичних умов, часу добування.

На місці добування латекс перемішують і коагулюють, додаючи в нього розведену мурашину або оцтову кислоту. Отриманий продукт (гель) промивають водою, прокочують на вальцях у листи, сушать, коптять або відбілюють і відправляють споживачеві.

Синтетичні каучуки (СК), одержувані шляхом синтезу.

Поділяють на:

- органічні, що складаються в основному з вуглеводнів або їх похідних;
- елементо-органічні, до макромолекул яких входять атоми силіцію, оксигену, сульфуру, стануму, а бічні ланцюги містять карбонові групи;
- неорганічні — що не містять карбону.

Синтетичні каучуки, до яких входять ланки одного мономеру, називаються гомополярними, а ті, що складаються з двох або більше мономерних ланок,— сополімерними каучуками.

Каучук, одержаний з природньої сировини, еластичний, на холоді твердіє, але не стає крихким і зберігає надану йому розтягнуту форму.

Поряд з натуральним каучуком широко застосовують синтетичні каучуки, які одержують синтетичним методом.

Ці каучуки поділяють на:

- органічні, які в основному складаються з вуглеводнів або їх похідних;
- елементорганічні, які вміщують атоми силіцію, сульфуру, стануму та інші, а бічні ланцюги містять карбонові групи;
- неорганічні, які вміщують вуглець (карбон). Сировиною для синтетичних каучуків служить нафта, природний газ, кам'яне вугілля.

Основу технології виробництва гуми становить процес вулканізації, що полягає в нагріванні каучуку із сіркою. Спочатку каучук змішують із наповнювачами (глиною, сажею, крейдою, кремнеземом), барвниками і

речовинами, які збільшують термін використання гуми. Потім до суміші додають сірку. Якщо взяти надлишок сірки, то утвориться твердий термореактивний матеріал – ебоніт. Його використовують для виготовлення електротехнічних деталей, хімічної апаратури.

8.4.4 Деревина

Деревина — складна органічна тканина деревних рослин. Перспективи розвитку деревообробної промисловості, зазвичай, пов'язують із розробкою і широким застосуванням деревинних композиційних матеріалів (ДКМ). Вони мають комплекс властивостей і особливостей, що відрізняються від традиційного конструкційного матеріалу деревообробки (масивної натуральної деревини) і в сукупності відкривають широкі можливості для розробки нових матеріалів та технологічних процесів.

Деревинні матеріали поділяють на: лісоматеріали і деревинні композиційні матеріали. Лісоматеріали – це матеріали із деревини, що зберегли її природну фізичну структуру і хімічний склад. Тобто, це натуральна деревина без будь-яких змін. ДКМ – це матеріали, що отримуються шляхом оброблення натуральної деревини тиском при підвищених температурах, просочуванням хімічними речовинами, склеюванням тощо. Тобто, це матеріали із деревини, під час оброблення якої змінюється її природна фізична структура і хімічний склад. Ці два види деревинних матеріалів розрізняють залежно від будови деревини у кінцевому продукті.

Колоди і кряжі отримують із спиляних дерев після очищення від гілок і розділення стовбура поперек на частини потрібної довжини. Колоди можуть використовуватися: як самостійні вироби (після обкорювання) у будівництві промислових і житлових будівель, як опори і стовпи для повітряних ліній зв'язку і ліній електропередачі, кріпильний матеріал для підземних робіт (рудникові стійки), огорожа територій тощо; як сировина для лісопильної, деревообробної, фанерної, сірникової, тарної, целюлозно-паперової лісохімічної та інших промисловостей. Кряжі використовуються для виготовлення спеціальних видів деревинних матеріалів. Лісопильна і деревообробна промисловість з лісоматеріалів виготовляють пиломатеріали (бруси, бруски, шпали, дошки, заготовки та ін.), колоті лісоматеріали (паркетна фриза, клепка для бочок), різані матеріали (шпон струганий, лущений тощо). Усі вище згадані матеріали мають збережену природну структуру деревини, це – *натуральна деревина*.

Більшість сучасних ДКМ – це композиції, вироби з яких мають певне поєднання експлуатаційних властивостей, наприклад, деревинностружкова плита, фанера тощо. У всіх випадках – це система різних матеріалів, кожна із складових якої має своє конкретне призначення у готовому виробі. Ні шпон, ні клей не можуть виконувати свої функції незалежно, а у фанері вони

використовуються сумісно і повинні розглядатися як єдина композиція. Отже, вираз «композиційний матеріал» містить у новій формі дуже стару і просту думку про те, що сумісна робота різнорідних матеріалів дає ефект, рівнозначний створенню нового матеріалу, властивості якого і кількісно, і якісно відрізняються від властивостей кожного з його складових.

Отже, для ДКМ характерні такі ознаки:

- не зустрічаються в природі, оскільки створені людиною;
- на противагу натуральній деревині, мають покращені експлуатаційні та інші властивості;
- основний компонент – лігноцелюлозний матеріал.

ДКМ можна поділити на дві великі групи: деревину модифіковану і деревинну композицію. Модифікована деревина – це натуральна масивна деревина, піддана відповідній обробці, під дією якої змінюється природна будова деревини. А деревинна композиція – це поєднання деревини і в'язучої речовини, комбінація деревинних і недеревинних матеріалів.

ДКМ можуть складатися тільки з деревини (наприклад, ущільнена деревина), з двох компонентів (фанера, різноманітні плити тощо), з трьох і більше компонентів (плити облицьовані синтетичним шпоном, антифрикційні матеріали тощо).

Для ДКМ, що складаються з двох і більше компонентів характерними є такі ознаки:

- складаються із компонентів, які відрізняються за своїм хімічним складом та істотно не взаємодіють між собою;
- однорідні у макромасштабі і неоднорідні у мікромасштабі (компоненти відрізняються за властивостями, між ними існує явна межа розділу);
- мають нові властивості, що відрізняються від властивостей їх компонентів (індивідуальність кожного з них зберігається);
- склад і форма компонентів матеріалу визначені наперед;
- компоненти присутні в кількостях, що забезпечують задані властивості матеріалу (тобто властивості композиційного матеріалу можна проектувати заздалегідь).

Компонент, який безперервний у всьому об'ємі ДКМ, називається матрицею; перервний, роз'єднаний в об'ємі композиції, – армувальним елементом або наповнювачем. Матеріал матриці і армувального елемента вказує на природу композиційного матеріалу. Проте, до деяких ДКМ поняття матриці і армувального елемента не можна застосувати. До таких відносяться шаруваті композиційні матеріали, які складаються із шарів різних компонентів, що чергуються між собою та модифікована масивна деревина.

8.5 Композиційні конструкційні матеріали

Композиційні матеріали являють собою композиції, що отримуються штучним шляхом з двох і більше різнорідних матеріалів, що сильно відрізняються один від одного за властивостями. У результаті композиція суттєво відрізняється за властивостями від складових компонентів, тобто одержуваний матеріал має новий комплекс властивостей. До складу композиційних матеріалів можуть входити як металеві, так і неметалеві складові.

Перспективи створення композитів конструктивного призначення пов'язані із синтезом матеріалів із елементів, що мають граничні значення властивостей за міцність, тугоплавкістю, термостійкістю тощо. В них використовуються високоміцні елементи (волокна, нитки, дріт, нитковидні кристали, гранули, дисперсні надтверді і тугоплавкі сполуки), що утворюють армування матеріалу, яких скріплюється матрицею з пластичного і міцного матеріалу (металевих сплавів або неметалу, переважно полімеру). Композити за міцністю та пружністю можуть на 50...100 % перевершувати сталі або алюмінієві сплави і забезпечувати зниження маси конструкцій до 20...50 %.

Компонент, безперервний у всьому обсязі композиційного матеріалу, називається *матрицею*. Компонент переривчастий, розділений в обсязі композиційного матеріалу, називається *арматурою*. Матриця надає необхідну форму виробу, впливає на створення властивостей композиційного матеріалу, захищає арматуру від механічних пошкоджень та інших впливів середовища. Як матриць в композиційних матеріалах можуть бути використані метали і їх сплави, полімери органічні і неорганічні, керамічні, вуглецеві та інші матеріали. Властивості матриці визначають технологічні параметри процесу отримання композиції та її експлуатаційні властивості: щільність, питому міцність, робочу температуру, опір втомного руйнування і впливу агресивних середовищ. Армуючі або зміцнюючі компоненти рівномірно розподілені в матриці. Вони, як правило, мають високу міцність, твердість і модулем пружності і за цими показниками значно перевершують матрицю.

Композиційні матеріали класифікують по геометрії наповнювача, розташуванню його в матриці, природі компонентів. По геометрії наповнювача композиційні матеріали підрозділяються на три групи:

- з нуль-мірними наповнювачами, розміри яких в трьох вимірах мають один і той же порядок;
- з одновимірними наповнювачами, один з розмірів яких значно перевищує два інших;
- з двовимірними наповнювачами, два розміри яких значно перевищують третій.

За схемою розташування наповнювачів виділяють три групи композиційних матеріалів:

- з одноосовим (лінійним) розташуванням наповнювача у вигляді волокон, ниток, ниткоподібних кристалів в матриці паралельно один одному;

- з двохосьовим (площинним) розташуванням армуючого наповнювача, матів з ниткоподібних кристалів, фольги в матриці в паралельних площинах;
- з тривісним (об'ємним) розташуванням армуючого наповнювача і відсутністю переважного напрямку в його розташуванні.

За природою компонентів композиційні матеріали поділяються на чотири групи:

- композиційні матеріали, що містять компонент з металів або сплавів;
- композиційні матеріали, що містять компонент із неорганічних сполук оксидів, карбідів, нітридів та ін. ;
- композиційні матеріали, що містять компонент із неметалічних елементів, вуглецю, бору та ін. ;
- композиційні матеріали, що містять компонент із органічних сполук епоксидних, поліефірних, фенольних і ін.

Властивості композиційних матеріалів залежать не тільки від фізико-хімічних властивостей компонентів, але і від міцності зв'язку між ними. Максимальна міцність досягається, якщо між матрицею і арматурою відбувається утворення твердих розчинів або хімічних сполук.

У композиційних матеріалах із нуль-мірним наповнювачем найбільшого поширення набула металева матриця. Композиції на металевій основі зміцнюються рівномірно розподіленими дисперсними частками різної дисперсності. Такі матеріали відрізняються ізотропними властивостями. У таких матеріалах матриця сприймає все навантаження, а дисперсні частинки наповнювача перешкоджають розвитку пластичної деформації. Ефективне зміцнення досягається при вмісті 5 ... 10 % частинок наповнювача.

Армуючими наповнювачами служать частки тугоплавких оксидів, нітридів, боридів, карбідів. Дисперсійно зміцнені композиційні матеріали отримують методами порошкової металургії або вводять частинки армирующего порошку в рідкий розплав металу або сплав. Промислове застосування знайшли композиційні матеріали на основі алюмінію, зміцнені частками оксиду алюмінію (Al_2O_3). Їх отримують пресуванням алюмінієвої пудри з подальшим спіканням (САП). Переваги САП проявляються при температурах вище 300 °С. Сплави САП задовільно деформуються, легко обробляються різанням, зварюються аргонодуговою і контактним зварюванням. Із САП випускають напівфабрикати у вигляді листів, профілів, труб, фольги. З них виготовляють лопатки компресорів, вентиляторів і турбін, поршневі штоки.

У композиційних матеріалах із одновимірними наповнювачами зміцнювачами є одновимірні елементи у формі ниткоподібних кристалів, волокон, дроту, які скріплюються матрицею в єдиний моноліт. Важливо, щоб міцні волокна були рівномірно розподілені в пластичній матриці. Для армування композиційних матеріалів використовують безперервні дискретні волокна з розмірами у поперечному перерізі від часток до сотень мікрометрів.

Матеріали, армовані ниткоподібними монокристалами, були створені на початку 70-х років для авіаційних і космічних конструкцій. Основним способом вирощування ниткоподібних кристалів є вирощування їх з перенасиченої пари

(ПК-процес). Для виробництва особливо високоміцних нитковидних кристалів оксидів і інших з'єднань здійснюється зростання по П-Р-К – механізму: спрямований зростання кристалів відбувається з пароподібного стану через проміжну рідку фазу. Здійснюється створення ниткоподібних кристалів витягуванням рідини через філь'єри. Міцність кристалів залежить від перетину і гладкості поверхні.

Композиційні матеріали цього типу перспективні як високо-жароміцні матеріали. Для збільшення к.к.д. теплових машин лопатки газових турбін виготовляють із нікелевих сплавів, армованих нитками сапфіра (Al_2O_3), це дозволяє значно підвищити температуру на вході в турбіну (межа міцності сапфірових кристалів при температурі 1680 °С вище 700 МПа). Армування сопел ракет із порошків вольфраму і молібдену виробляють кристалами сапфіра як у вигляді повсті, так і окремих волокон, в результаті цього вдалося подвоїти міцність матеріалу при температурі 1650 °С. Армування пропиточного полімеру стеклотекстолитов ниткоподібними волокнами збільшує їх міцність. Армування литого металу знижує його крихкість в конструкціях. Перспективно зміцнення скла неорієнтованими ниткоподібними кристалами. Для армування композиційних матеріалів застосовують металевий дріт з різних металів: сталі різного складу, вольфраму, ніобію, титану, магнію – у залежності від умов роботи. Сталевий дріт переробляється в ткани сітки, які використовуються для отримання композиційних матеріалів з орієнтацією арматури в двох напрямках. Для армування легких металів застосовуються волокна бору, карбїду кремнію. Особливо цінними властивостями володіють вуглецеві волокна, їх застосовують для армування металевих, керамічних і полімерних композиційних матеріалів. Евтектичні композиційні матеріали – сплави евтектичного або близького до евтектичного складу, в яких упрочнюючої фазою виступають орієнтовані кристали, які утворюються в процесі спрямованої кристалізації. На відміну від звичайних композиційних матеріалів, евтектичні отримують за одну операцію. Спрямована орієнтована структура може бути отримана на вже готових виробках. Форма кристалів може бути у вигляді волокон або пластин. Способами спрямованої кристалізації отримують композиційні матеріали на основі алюмінію, магнію, міді, кобальту, титану, ніобію та інших елементів, тому вони використовуються в широкому інтервалі температур.

Запитання для контролю знань

1. Наведіть приклади використання пластмас для нафтогазопромислового обладнання
2. Проаналізуйте вплив компонентів металокерамічних матеріалів на їх властивості.
3. Які переваги мають ДКМ перед лісоматеріалами?
4. Запропонуйте заходи з підвищення міцності конструкційних матеріалів.

ТЕМА 9 МАТЕРІАЛИ ІЗ ОСОБЛИВИМИ ТЕХНІЧНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ

9.1 Жаростійкі та жароміцні матеріали

Для матеріалів, що використовуються при високих температурах, основними характеристиками є жаростійкість (окалиностійкість) і жароміцність.

Здатність металу чинити опір хімічній дії навколишнього газового середовища при високих температурах називається *жаростійкістю* або *окалиностійкістю*. При нагріванні вище 600°C відбувається інтенсивне окислення сплавів на основі заліза, крихка плівка оксиду FeO , що утворюється на поверхні металу, не здатна запобігти дифузії кисню в метал. Такі легуючі елементи, як Cr , Si , Al покращують склад і будову оксиду плівки. Вона стає щільною, добре прилеглою до металу, що утруднює дифузію кисню.

Щільні захисні оксидні плівки частіше за все одержують при введенні у сталь достатніх кількостей хрому. Тому корозійностійкі сталі одночасно є жаростійкими сталями. При цьому жаростійкі властивості ростуть із збільшенням вмісту хрому в сталі. Сталь, що містить 5 % Cr зберігає окалиностійкість до 600 °C ($15X5$), 9 % ($40X9C2$) — до 800 °C, 17 % ($08X17T$) — до 900 °C. Для виготовлення деталей газових турбін і пічного устаткування застосовують сталь $20X23H18$, яка має окалиностійкість 1050-1100 °C.

Іншою найважливішою характеристикою високотемпературних матеріалів є жароміцність. Здатність матеріалу чинити опір пластичній деформації і руйнуванню при високих температурах називається *жароміцністю*. При температурах, близьких до початку рекристалізації, прикладення навантаження, навіть меншої межі текучості, приводить до повільної пластичної деформації, метал ніби «повзе». Це явище називається повзучістю або крипом. Враховуючи, що розвиток високотемпературної повзучості збігається з початком рекристалізації, зростання жароміцності сплаву може бути досягнуто при підвищенні температури його рекристалізації.

Жароміцність сталі й інших металевих сплавів залежить від величини міжатомних зв'язків, а також від їх структурного стану. Підвищення жароміцності досягається легуванням, створенням сплавів спеціальної структури внаслідок гартування при високих температурах і подальшим старінням.

Жароміцні сплави за умов служби можна розділити на 3 групи:

- сплави, які піддаються значним, але короткочасним механічним навантаженням при високих температурах;
- сплави, які знаходяться під навантаженням при високих температурах десятки і сотні годин;
- сплави, які призначені для роботи в умовах великих навантажень і високих температурах протягом десятків тисяч годин.

Жароміцні сплави класифікують за їх основою: нікелеві, залізні, титанові, берилієві тощо. Жароміцні сплави для роботи при температурах 700-900 °С створюють на основі заліза, нікелю, кобальту, а для роботи при температурах 1200-1500 °С – на основі нікелю, молібдену й інших тугоплавких металів.

Розрізняють такі види жароміцних сталей і сплавів:

Перлітні сталі. Сталі перлітного класу використовують для виготовлення кріплення, труб, паропроводів, пароперегрівачів і колекторів енергетичних установок, тривало працюючих при температурах 500-550 °С. Перлітні сталі містять відносно малу кількість вуглецю і звичайно леговані хромом, молібденом і ванадієм (маркування *12ХМ*, *12Х1МФ*). Сталі цього класу використовують у загартованому або нормалізованому і високовідпущеному стані.

Мартенситні сталі. Сталі мартенситного класу використовують для виготовлення деталей енергетичного устаткування (лопатки, діафрагми, турбінні диски, ротори), тривало працюючі при температурах 600-620 °С. Сталі значно більш леговані хромом, а також леговані вольфрамом, молібденом, ванадієм (маркування *15Х11МФ*, *15Х12ВНМФ*). Висока жароміцність цих сталей досягається при загартовуванні від 1000-1050 °С у маслі на мартенсит із подальшою відпусткою на сорбіт або тростит.

Аустенітні сталі. З них виготовляють ротори, диски, лопатки газових турбін, клапани дизельних двигунів, працюючі при температурах 600-700 °С. Хромонікелеві аустенітні сталі для збільшення жароміцності додатково легують вольфрамом, молібденом, ванадієм, ніобієм, бором й іншими елементами. Прикладом жароміцних сталей аустенітного класу є марки *09Х14Н16Б*, *09Х14Н19В2БР*, *45Х14Н14В2М*. Термообробка цих сталей складається з гартування і старіння при температурах вище експлуатаційних. При старінні відбувається виділення з аустеніту дрібнодисперсних надмірних фаз, що додатково збільшує опір сталі повзучості.

Сплави на нікелевій основі. Ці сплави працюють при температурах до 700 – 900 °С. До сплавів на нікелевій основі відносять:

- ніхроми, що містять нікель і хром, використовуються як жаростійкі матеріали для нагрівальних елементів;

- німоніки – старіючі сплави на основі нікелю, що містять хром, титан і алюміній. Прикладом німоніку може служити сплав *ХН77ТЮР*, що містить: 19-22% *Cr*, 2,4-2,8% *Ti*, 0,6-1,0% *Al*, інше *Ni*. Максимальна жароміцність німоніків досягається після гартування від 1100-1200 °С і старіння при 700-750 °С протягом 15-20 ч.

Недоліками керамічних матеріалів є крихкість і відносна технологічна складність виготовлення деталей.

9.2 Тугоплавкі матеріали

Для роботи при температурах більше 1000 °С застосовують тугоплавкі метали і сплави на їх основі. Тугоплавкими називаються метали, що мають температуру плавлення вище, ніж у заліза. Найбільше застосування в техніці знаходять тугоплавкі метали, що мають такі температури плавлення: *Cr* – 1900°С, *Nb* – 2415 °С, *Mo* – 2620 °С, *Ta* – 3000 °С, *W* – 3410 °С. Розширення виробництва і застосування тугоплавких металів і сплавів пов'язано з розвитком атомної теплоенергетики і ракетно-космічної техніки.

Сплави на основі ніобію і молібдену мають задовільні технологічні властивості. Крім того, вони крихкі при порівняно низьких температурах (+100) - (-100) °С. Вольфрам переходить у крихкий стан при температурі 600 °С. Завдяки порівняно високій пластичності сплави ніобію і молібдену мають більш широке розповсюдження.

Всі тугоплавкі метали мають низьку жаростійкість. Для захисту їх від окислення застосовують різні покриття. Для молібденових і вольфрамових сплавів застосовують різні термодифузійні силіцидні покриття. Як матеріал для вкладишів сопел у реактивних двигунах, працюючих на твердому паливі, застосовують графіт, що має температуру плавлення 3900 °С. Температура полум'я в таких двигунах досягає 3500 °С. Недоліком графіту є низька ерозійна стійкість, що приводить до зносу сопла через тверді частинки, що містяться в газах, які відходять.

9.3 Електротехнічна сталь

Електротехнічну сталь застосовують для виготовлення електротехнічного устаткування (трансформаторів, генераторів, двигунів, дроселів, стабілізаторів напруги, реле тощо). У залежності від потрібних властивостей, електротехнічна сталь містить різну кількість кремнію. За вмістом кремнію електротехнічні сталі поділяють на низьколеговану (0,5...1,8 % *Si*), середньо-леговану (1,8...2,8 % *Si*), леговану (2,8...3,8 % *Si*) і високолеговану (3,8...4,8 % *Si*). Кремній підвищує електричний опір сталі, зменшує питомі втрати енергії (на гістерезис і вихрові струми), знижує індукцію насичення і пластичність.

У залежності від технології виробництва електротехнічні сталі поділяють на холоднокатані (ізотропні або анізотропні; кількість кремнію до 3,3 %) і гарячекатані (ізотропні; кількість кремнію до 4,5 %). Часто як легувальний додаток електротехнічна сталь може містити алюміній (до 0,5 %). Низько- і середньолеговані електротехнічні сталі умовно називають *динамними*. Листи з таких електротехнічних сталей (товщиною 0,5...1,0 мм) застосовують для виготовлення роторів і статорів електричних машин. До легованих і високолегованих електротехнічних сталей належать *трансформаторні* сталі.

Магнітні властивості електротехнічних сталей поліпшують утворенням кубічної текстури і рафінуванням від супутніх домішок. Якісні показники

електротехнічних сталей характеризуються електромагнітними властивостями, ізотропністю магнітних властивостей (значень магнітних властивостей металу вздовж і поперек напрямку вальцювання), геометричними розмірами і якістю листів та смуг, а також параметрами електроізоляційного покриття.

Електротехнічні сталі зазвичай поставляються у відпаленому стані. Для зняття механічних напружень, що виникають при виготовленні деталей магнітопроводів, проводять додаткове короткочасне відпалювання при 800...850 °С.

Перша цифра в марці вказує спосіб виготовлення: гарячекатана сталь (1), холоднокатана ізотропна (2). Друга цифра (0 або 1) тип за вмістом кремнію (< 0,03%): 0 вказує на відсутність нормування за коефіцієнтом старіння, 1 – з нормованим коефіцієнтом старіння. Третя цифра визначає головну характеристику, яку гарантує завод-виробник, а саме: цифра 8 позначає коерцитивну силу H_c , а її значення показують дві останні цифри.

Приклади маркування сталі: 10895, 20864, 20848 тощо.

Сплави із заданим значенням теплового розширення. У приладобудуванні в ряді випадків використовуються сплави з найрізноманітнішими властивостями, наприклад, сплави з коефіцієнтом лінійного розширення, рівним коефіцієнту лінійного розширення скла, чи з коефіцієнтом, рівним нулю, а також з досить великим коефіцієнтом і т. д. Щоб задовольнити ці вимоги, для кожного конкретного випадку застосування виготовляють сплави чітко визначеного складу. Їх, як і магнітні та електротехнічні сплави, називають часто прецизійними сплавами.

Така назва обумовлена тим, що склад цих сплавів повинен бути точним; розбіжності в коливаннях вмісту легуючих елементів дуже невеликі, тому що цим забезпечується одержання оптимальних властивостей. Виготовляють прецизійні сплави (крім трансформаторного металу) у дуже малих кількостях, способами, схожими на виготовлення сплаву лабораторними методами.

Залежність розширення металу від температури нагрівання носить криволінійний характер (рис. 9.1).



Рисунок 9.1 – Крива розширення сплавів при підвищенні температури

Коефіцієнт лінійного розширення α зростає з підвищенням температури:
 $\alpha_{t1} < \alpha_{t2}$, якщо $t_1 < t_2$.

Значення коефіцієнтів лінійного розширення для деяких металів при різних температурах приведені в таблиці 9.1.

Таблиця 9.1 – Коефіцієнти лінійного розширення деяких металів

Метал	$\alpha \cdot 10^6$ при температурі, °C				
	0	100	200	600	800
Залізо	11,3	12,2	12,7	14,5	14,8
Мідь	16,7	17,0	17,4	18,8	19,6
Алюміній	22,8	23,7	24,5	27,9	-
Нікель	13,4	13,6	14,0	15,6	16,1
Кобальт	12,0	12,5	13,0	-	-
Платина	8,9	9,1	9,2	9,7	9,9

При введенні в метал другого компонента виникає зміна коефіцієнта лінійного розширення, при цьому:

а) якщо обидва компоненти утворюють механічну суміш, то коефіцієнт лінійного розширення сплаву змінюється адитивно;

б) якщо компоненти утворюють твердий розчин, то коефіцієнт лінійного розширення змінюється по криволінійній залежності, але в межах границь, обмежених значеннями коефіцієнтів лінійного розширення чистих компонентів.

Існують, однак, дві аномальні системи: *Fe-Ni* та *Fe-Pt*, в яких зміна коефіцієнта лінійного розширення сплавів не підлягає загальним правилам. У залізонікелевих сплавів коефіцієнт лінійного розширення при додаванні нікелю змінюється за складною залежністю (рис. 9.2), де розрив кривої відповідає переходу α - твердого розчину в γ - твердий розчин.

З цієї діаграми видно, що в заліза $\alpha=11,6 \cdot 10^{-6}$. Сплав з 25 % *Ni* має майже у два рази більший коефіцієнт лінійного розширення ($\alpha=20 \cdot 10^{-6}$). Сплав із 36 % *Ni* має у вісім разів менший коефіцієнт лінійного розширення ($\alpha=1,5 \cdot 10^{-6}$).

Сплав з 36 % *Ni* називається інваром (незмінний), і його можна вважати практично таким, що не розширюється. Цей сплав застосовують в багатьох приладах для деталей, розміри яких не повинні змінюватися зі зміною температури. Малий коефіцієнт лінійного розширення інвару зберігається лише в інтервалі від -80 до +100° C; вище і нижче цього інтервалу коефіцієнт розширення інвару різко зростає.

Сплав з 42 % *Ni* відрізняється тим, що має постійний коефіцієнт лінійного розширення (близько $7,5 \cdot 10^{-6}$) в інтервалі від 20 до 200° C; поза цим інтервалом температур його коефіцієнт зростає, тобто сплав розширюється більш інтенсивно (рис. 9.3).

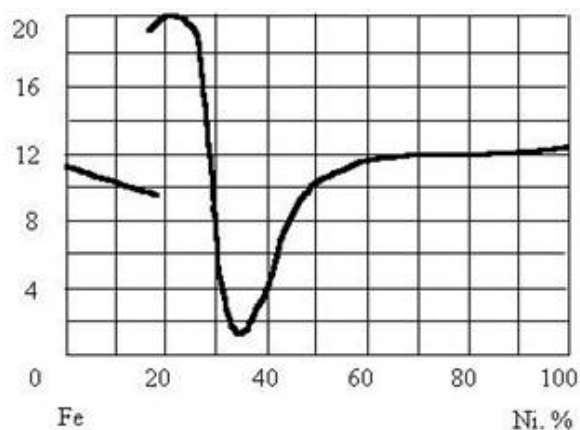


Рисунок 9.2 – Коефіцієнт лінійного розширення сплавів Fe-Ni.

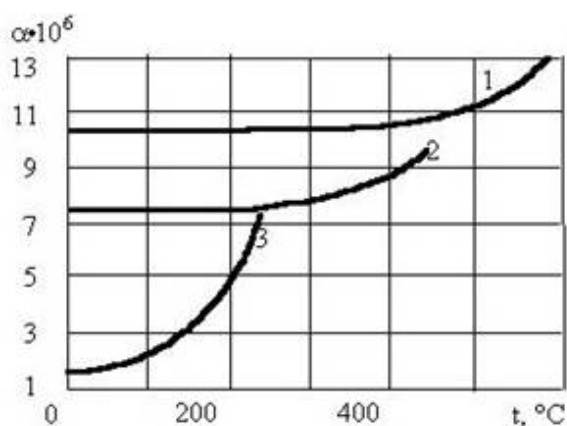


Рисунок 9.3 – Коефіцієнт лінійного розширення сплавів Fe-Ni при різних температурах. Вміст Ni, %:
1 – 50; 2 – 42; 3 – 36.

Іншими словами, для сплавів системи Fe-Ni існує інтервал температур, в межах якого коефіцієнт лінійного розширення залишається постійним. Верхня температура цього інтервалу тим вища, чим більший в сплаві вміст нікелю. Температура, при якій коефіцієнт лінійного розширення сплаву Fe-Ni різко зростає, співпадає з точкою Кюрі цього сплаву. У таблиці 9.2 для різних інварних сплавів наведений хімічний склад і коефіцієнти теплового розширення, які регламентовані технічними умовами.

Таблиця 9.2 – Склад та властивості інварних сплавів

Назва сплаву	Марка сплаву	Вміст елементів, %			Теплові властивості	
		Ni	Co	Fe	Коефіцієнт лінійного розширення $\alpha \cdot 10^{-6}$	Температурний інтервал вимірювань, °C
Інвар	Н36	36	-	64	1,5	20...100
Суперінвар	Н31К6	30...34	4...6	60...66	1,0	20...60
Платиніт	Н48	48	-	52	9,0	20...300

З наведених у таблиці 9.2 сплавів найбільшого застосування одержав сплав Н36.

Для інвару характерна деяка нестабільність розмірів в часі: спочатку, після виготовлення деталі, її розміри зменшуються, а потім ростуть. Стабілізація розмірів виробів досягається термічною обробкою, за допомогою якої знімаються залишкові напруги, тому що зазначена розмірна нестабільність є результатом релаксації цих напруг, отриманих при попередніх обробках.

У результаті заміни частини нікелю кобальтом одержують сплав, так званий суперінвар, з ще меншим коефіцієнтом теплового розширення, ніж у простого інвару.

У результаті заміни нікелю кобальтом одержують сплав, називаний коваром, який містить 29% Ni, 18% Co. В такого сплаву коефіцієнт лінійного розширення $\alpha = 5 \cdot 10^{-6} 1/^{\circ}\text{K}$.

Він використовується для спайки з молібденовим склом, що має такий же коефіцієнт лінійного розширення.

Сплав з 48 % *Ni* має коефіцієнт лінійного розширення, рівний $9 \cdot 10^{-6}$, тобто такий же, як у скла та платини. Цей сплав одержав назву платиніт, і його застосовують для пайки металу зі склом.

Сплави з постійним модулем пружності. В ряді випадків для пружин різних точних приладів, для камертонів і т.п. потрібний метал з постійними модулями пружності (*E*, *G*), які не змінюються з температурою. В цьому випадку застосовують сплави, які називають елінварами (постійна пружність), що містять близько 36 % *Ni* і 8 % *Cr*, решта – залізо.

Температурний коефіцієнт модуля нормальної пружності цих сплавів коливається в межах $18 \dots 23 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$. В цих сплавах коефіцієнт приблизно в десять разів менший, ніж для вуглецевої сталі, і в 20 разів менший, ніж для аустенітної сталі.

Температурний коефіцієнт модуля нормальної пружності сплаву *H35ХМВ* настільки малий, що, наприклад, забезпечує температурну похибку ходу годинника порядку 0,5 с на добу на 1°C (тобто годинник при зміні температури на 1°C будуть поспішати або відставати не більше ніж на 0,5 с на добу). Інші властивості цих сплавів наведені в таблиці 9.4.

Сплав елінвар застосовують переважно в загартованому стані, а сплав ніспен-С – після загартування з відпуском або загартування з наступною пластичною деформацією.

Таблиця 9.4 – Деякі властивості сплавів з низьким температурним коефіцієнтом модуля пружності

Властивості сплавів	Елінвар	Ніспен-С
Модуль нормальної пружності, МПа	160000...170000	18000
Коефіцієнт розширення, мм/(мм·град)	$7 \dots 8 \cdot 10^{-6}$	$7 - 8 \cdot 10^{-6}$
Електроопір, Ом · мм ² /м	0,9	0,9
Межа міцності, МПа	700...900	70 – 140
Відносне видовження, %	15-20	40 – 70

9.4 Сплави, що володіють пам'яттю форми

Нітінол, що містить 55 % нікелю і 45 % титану, вперше виготовлений у 1962 році, але його унікальні властивості були виявлені пізніше, через кілька років. З'ясувалося, що нітінол має цікаву особливість – так звану термічну пам'ять форми. Деталь із цього сплаву «запам'ятовує» форму, яку вона мала при нагріванні до певної температури і, будучи охолодженою і деформованою, відтворює цю форму при нагріванні до «пам'ятної» температури. Якщо дріт з цього сплаву нагріти до 90-150 $^{\circ}\text{C}$, зігнути у нагрітому стані, охолодити і розпрямити (розплющити, зігнути іншим чином, зав'язати вузлом), то при повторному нагріванні до температури близько 70 градусів вона мимовільно відновить форму, яку вона мала в початковому нагрітому стані. Ефект пам'яті

форми базується на фазових перетвореннях у заданому діапазоні температур. Характер зміни форми виробу, отриманого при деформації дроту із сплаву, що володіє пам'яттю форми, залежить від температури нагріву. Якщо послідовно нагрівати дріт до різних температур, щоразу деформуючи її особливим чином, потім охолодити, розпрямити і знову нагріти, то при певній температурі вона буде приймати відповідну форму.

Пам'яттю форми володіють і деякі інші сплави, наприклад срібло з кадмієм або цинком. Цікавою особливістю цих сплавів є їх здатність забарвлюватися при нагріванні в червоний колір, причому забарвлення зникає при повільному охолодженні і зберігається при загартуванні.

Ефект пам'яті форми виявлений також у сплавів марганцю з залізом і кремнієм, марганцю з міддю і марганцю з нікелем, золота з кадмієм, цирконію з паладієм і у десятків інших сплавів.

Є багато цікавих пропозицій використання нітінолу та інших сплавів з ефектом пам'яті форми: самозакріплюючі заклепки, шплінти, саморозгортаючі антени для космічних станцій, термореле і т.п. Найбільш доречно застосовувати їх у місцях, доступ до яких утруднений. Сплави із пам'яттю форми сьогодні використовують у різних областях, включаючи космонавтику, енергетику, медицину. Вони вигідно відрізняються від термобіметалів, бо спрацьовують вже при незначній зміні температури.

Напруги, що розвиваються сплавом, який прагне прийняти при нагріванні первинну форму, можуть досягати 1000 МПа. Тому сплави із пам'яттю форми доцільно застосовувати для підйому важких вантажів або для прямого перетворення теплової енергії в механічну, наприклад, у спеціальних двигунах.

Цікаве застосування сплави з пам'яттю форми можуть знайти в автомобілебудуванні: якщо корпус автомобіля виготовити, наприклад, з нітінолу, то навіть після сильної деформації його в результаті аварії первинну форму корпусу легко відновити, нагрів його.

9.5 Антифрикційні матеріали

Антифрикційні властивості забезпечуються структурою: м'яка основа – твердий розчин і тверде включення – евтектоїд ($\alpha + \delta$). Хороші антифрикційні якості мають олов'яністі та свинцеві бронзи. Свинцева бронза має структуру, яка складається із зерен α -фази та евтектики на основі свинцю (99,96 %), яка розташовується на границях зерен або в міждендритних проміжках. Однак, олов'яністі бронзи дорогі, а свинцеві мають низькі технологічні властивості та міцність. Тому бронзу *БрС30* краще використовувати в якості наплавленого робочого шару в бі- та триметалах. Якщо свинцеві бронзи легувати нікелем та оловом (*Бр.ОС8-12*, *Бр.ОСН 10-2-3* та ін.), які дають твердо-розчинне зміцнення міді, то їх можна використовувати для виготовлення втулок і вкладишів

підшипників без сталюї основи. Оскілки олово і свинець дефіцитні метали, то часто використовуються сплави на основі алюмінію.

Алюмінієві сплави мають хороші антифрикційні властивості, високу теплопровідність, хорошу корозійну стійкість у масляних середовищах і достатньо хороші механічні та технологічні властивості. Їх застосовують у вигляді тонкого шару, який нанесений на сталюу основу. У залежності від хімічного складу розрізняють два види сплавів.

1. Сплави алюмінію з сурмою, міддю та іншими елементами, які утворюють тверді фази у м'якій алюмінієвій основі. Найбільшого поширення набув сплав *АСМ*, який включає сурму (до 6,5 %) і магній (0,3-0,7 %) Цей сплав добре працює при високих швидкостях і великих навантаженнях в умовах рідкого тертя. Сплав *АСМ* широко використовується для виготовлення вкладишів підшипників колінчатого валу двигунів тракторів та автомобілів.

2. Сплави алюмінію з оловом і міддю, наприклад, *A020-1* (20 % олова і до 1,2 % міді) і *A09-2* (9 % олова і 2 % міді). Вони добре працюють в умовах сухого і напівсухого тертя і по антифрикційним властивостям близькі до бабітів. Їх використовують для виготовлення підшипників в автомобілебудуванні, тракторному та загальному машинобудуванні.

Інколи, як антифрикційні сплави використовують чавуни. Вони мають перлітну основу та підвищений вміст графіту. Графіт виконує роль мастила. Антифрикційні чавуни використовуються для виготовлення черв'ячних зубчатих коліс, направляючих для повзунів тощо.

Останнім часом в якості антифрикційних матеріалів широко використовують порошкові матеріали. Їх виготовляють з порошків бронзи, або заліза з добавками 1-3 % графіту, просоченого мастилом, яке заповнює пори, об'єм яких у виробі складає 15-30 %. Мастило і графіт змащують поверхні тертя. Знос підшипників і шийки вала в 7-8 разів менший, ніж у бабітів. Термін служби пористих підшипників у 1,5-10 разів більший, ніж у стандартних.

Застосування таких підшипників в авто- і авіабудуванні не вимагає регулярного змащення, спрощує конструкцію, обслуговування, підвищує надійність. Недоліком є менша, ніж у інших підшипників міцність.

У залежності від умов використання до таких підшипників висуваються різні вимоги. Так, до антифрикційних матеріалів для атомної та хімічної промисловості основною вимогою є стійкість проти агресивних середовищ (кислот, розплавлених металів, розігрітих газів тощо). Турбо- і авіабудівництво вимагає стійкості проти високих температур, роботи без змащування. Такі порошкові матеріали виготовляють з порошків метало-окислів (до 90 %) або металослюди, графіту, з порошків залізо + графіт + сульфідні добавки, які знижують коефіцієнт тертя. Хороше змащування мастило + графіт забезпечується введенням поверхнево активних речовин (хром, кальцій, магній, барій тощо).

Для важко-навантажених підшипників застосовують свинцеві бронзи з графітом.

Для особливо важких умов експлуатації (наприклад, шліфувальні верстати з алмазними дисками, які працюють з швидкістю біля 10000 об/хв застосовують антифрикційні матеріали на основі карбіду вольфраму.

9.6 Аморфні металічні сплави

Аморфні металічні сплави – це нові метастабільні металічні сплави, які виділяються незвичайними властивостями. Вони у процесі деформації при 20 °С практично не наклепуються, тому вироби не потребують відпалу. Твердість аморфних сплавів достатньо велика 700-750 НВ. При нагріванні вони можуть кристалізуватись. Чим вища температура нагріву, тим швидше відбувається перебудова. Однак, при кімнатній температурі навіть найбільш нестійкі з металічних стекол можуть існувати біля 200 тисяч років. Для кожного з аморфних сплавів температура кристалізації своя. Це можна використати. Так, після відпалу при температурі 800-850 °С спостерігається підвищення твердості до 1200-1500 НВ. Це пояснюється розстеклюванням (кристалізацією) сплаву, аналогічно ефекту старіння металічних сплавів. Висока твердість аморфних металічних сплавів використовується в техніці. Так, їх застосовують для армування шин, трубок високого тиску, виготовлення лез ріжучих інструментів тощо.

Для отримання аморфних металів необхідна величезна швидкість охолодження (106-110 °С на сек.) розплаву. З'ясувалось, що при значних товщинах виробів такої швидкості охолодження досягнути не можливо, бо вирішальну роль починає відігравати тепловідвід зі середніх шарів металу. Тому для аморфізації необхідно, щоб хоча один розмір виробу був дуже малий (декілька мілімікрон). У зв'язку з цим виготовляють вироби з аморфних металів у вигляді стрічок, дроту, фольги тощо.

Можливості застосування аморфних металічних сплавів великі. Так, значні перспективи їх застосування для виготовлення магнітом'яких матеріалів, композиційних матеріалів, корозіє-захисних покриттів тощо.

9.6.1 Історія відкриття металевого скла

Перші роботи про отримання аморфних плівок при використанні вакуумного напылення з'явилися в 50-і роки. Пізніше аморфні сплави були отримані методом електроосадження сплавів. У 1960 р. ученими Салі і Мірошніченко був розроблений спосіб отримання аморфних сплавів шляхом двостороннього охолодження розплавів. Швидкості охолодження розплаву, що досягаються, складали ~106 К/с. Коен і Теренбелл показали, що аморфний склад *Au-Si* близький до складу сплаву з дуже низькою евтектичною крапкою на рівноважній діаграмі. Встановлена проста умова формування аморфних металевих сплавів – глибока евтектика на рівноважних діаграмах стану, що у свою чергу полегшило пошук систем і складів, які можуть аморфізуватися при загартуванні з розплаву.

9.6.2 Структура аморфного стану

Відразу ж після отримання аморфних металевих сплавів (АМС) виникли питання, пов'язані з їх атомною структурою. Чи змінився структурний хаос атомів, властивий рідкому стану, при швидкому охолодженні? Якщо змінився, то яким став новий структурний безлад? До теперішнього часу немає прямих експериментальних методів, які могли б дати однозначну відповідь про структуру аморфних сплавів. Проте за допомогою рентгенівської, нейтронної, електронної дифракції було показано, що в АМС є більш-менш чітко обумовлений на відстані двох-трьох сусідніх атомів так званий ближній порядок. Вважається, що в аморфному металевому сплаві елементарна комірка, характерна для кристалічного стану, також зберігається. Однак при стикуванні елементарних комірок у просторі порядок їх порушується, і стрункість лав атомів, характерна для далекого порядку, відсутня. Близький порядок, який лежить в основі структури аморфних сплавів, є метастабільною системою. При нагріванні до температури кристалізації він перебудовується в звичайну кристалічну структуру. У середньому для більшості аморфних сплавів температура кристалізації знаходиться в межах 650-1000 К. При кімнатній температурі аморфні сплави можуть зберігати структуру і властивості протягом сотень років.

Особливості структури АМС позначилися і на багатьох фізичних властивостях. Так, незважаючи на те що щільність аморфних сплавів на 1-2 % нижче щільності кристалічних аналогів, міцність їх вище в 5-10 разів. Більш висока міцність пов'язана з тим, що в АМС відсутні такі дефекти, як дислокації і межі зерен, властиві кристалічному стану. Навіть вакансії (порожні місця, що утворюються при видаленні атомів з вузлів кристалічної решітки) в аморфних сплавах мають іншу форму і розміри. Вони більше схожі на порожнечі чечевице-подібної форми. Їх називають вакансіонноподібними дефектами. Ці пустоти мають вигляд вузьких щілин, і в них не може розміститися атом. Наявність таких дефектів сильно ускладнює дифузію (проникнення атомів) через аморфні металеві шари. Безлад розташування атомів у вигляді ближнього порядку впливає на електропровідність металевих стекл. Їх питомий електричний опір у 3-5 разів вище, ніж у кристалічних аналогів. Це пов'язано з тим, що при русі електронів через нерегулярну структуру АМС вони відчують набагато більше зіткнень з іонами, ніж у кристалічній решітці.

9.6.3 Кристалізація аморфних металевих сплавів

Експериментально аморфність металевих і неметалевих речовин встановлюється по відсутності характерних для кристалів дифракційних максимумів на рентгено-, нейтроно- і електронограмах зразків. Існує чотири основних метода одержання аморфних металів та сплавів:

1) швидке охолодження (зі швидкостями 10⁴-10⁶ К/с) рідкого розплаву; отримані аморфні сплави мають назву металеве скло;

2) конденсація парів, або напилювання атомів на холодну підложку з утворенням тонких плівок аморфного металу;

3) електрохімічне осадження;

4) опромінення кристалічних металів інтенсивними потоками іонів або нейтронів.

Аморфні метали – це метастабільні системи, які термодинамічно нестійкі відносно процесу кристалізації. Їхнє існування обумовлене тільки сповільненістю кінетичних процесів при низьких температурах. Стабілізації аморфних металів сприяє присутність так званих аморфізуючих домішок. Так, аморфні плівки з чистих металів значно менше стабільні, ніж плівки зі сплавів. Для одержання металевого скла з чистих металів потрібні дуже великі швидкості охолодження ($\sim 10^{10}$ K/c).

Багато металевого скла має унікальні механічні, магнітні і хімічні властивості. Границі текучості і міцності для ряду металевого скла дуже високі і близькі до так званих теоретичних меж. У той же час металеве скло має високу пластичність, що різко відрізняє їх від діелектричного і напівпровідникового скла. Велика кількість металевого скла при високій механічній міцності характеризуються великою початковою магнітною сприйнятливістю, малими значеннями коерцитивних сил та практично повною відсутністю магнітного гістерезису. Корозійна стійкість деякого металевого скла на декілька порядків вище, ніж у багатьох кращих нержавіючих сталей. Серед інших унікальних особливостей металевого скла – слабе поглинання звуку та каталітичні властивості. Основні особливості металевого скла, очевидно, пов'язані з їх високою мікроскопічною однорідністю, тобто відсутністю дефектів структури типу межзерених границь, дислокацій та т.д.

При плавленні металу або сплаву кристалічна решітка руйнується і в рідині атоми коливаються навколо позицій, які постійно і швидко взаємно перерозподіляються. При плавленні рідка і тверда фази знаходяться у рівновазі, ентальпія і ентропія зазнають стрибкоподібну зміну. При температурах вище за точку кристалізації рідка фаза знаходиться в стані внутрішньої рівноваги і нездібна чинити опір зсувній напрузі. Металевим розплавам характерна в'язка текучість, тоді як розплави силікатів, боратів й інших подібних речовин володіють дуже низькою текучістю, тобто мають високу в'язкість.

При охолодженні, перш ніж почнуться процеси кристалізації, рідка фаза повинна переохолоджуватися нижче за рівноважну температуру кристалізації, для подолання енергетичного бар'єру потрібного для створення кристалічного зародка. Ступінь переохолодження розплаву залежить від ряду чинників, включаючи первинну в'язкість розплаву, швидкість її зростання при зниженні температури; температурну залежність різниці вільних енергій рідкої і кристалічної фаз; щільність і ефективність центрів гетерогенного зародкоутворення; швидкість охолодження.

При видаленні з розплаву центрів гетерогенного зародження (домішок), швидкість росту кристалів залишається дуже високою, і у разі малої швидкості відведення тепла в навколишнє середовище відбувається швидке заповнення об'єму кристалічною фазою. Якщо ж розплав охолодити швидко (забезпечивши ефективний тепловідвід) впливу джерел гетерогенного зародження кристалів важко, а у разі ще більшого збільшення швидкості охолодження переохолодження ще більше зростає і швидкість до кристалізації знижується. Таким чином, істотно скорочується температурний інтервал, в якому протікає процес кристалізації, що викликає зміну структури, що формується при охолодженні. Спочатку відбувається подрібнення мікрокристалічної структури, а потім, залежно від складу сплаву, відбувається розширення розчинності в твердому розчині і утворюються метастабільні кристалічні фази. І якщо швидкість охолодження дуже висока, кристалізація пригнічується і відбувається уповільнення не тільки процесів зростання кристалів, але і їх зародження. В'язкість при охолодженні розплавів безперервно зростає. Не дивлячись на те, що рушійні сили кристалізації постійно збільшуються, вони проте компенсуються рухливістю атомів, що швидко знижується, яка домінує при дуже великих значеннях переохолодження. В результаті атомна конфігурація набуває нерівноважного характеру і при так званій температурі оскляння T_g виявляється гомогенно замороженою. На практиці одному сплаву може відповідати декілька аморфних структур, оскільки температура і структура, при яких відбувається відхилення від стану рівноваги, залежать від швидкості охолодження.

Температура кристалізації аморфних металів та сплавів не є постійною величиною як, наприклад, температура плавлення. Температура кристалізації аморфних металів залежить від швидкості їх нагрівання. Тому для дослідження процесу кристалізації використовують два методи: ізотермічний, та при постійній швидкості нагрівання. Процес кристалізації аморфних металів – це зародковий процес, тому швидкість процесу кристалізації залежить від швидкості утворення кристалічних центрів (зародків кристалізації) та від швидкості їх росту. Для протікання кристалізації необхідно, щоб молекули почали розташовуватися у визначеному порядку. Для цього процесу рухливість часток повинна бути вища за певне значення, а це можливе тільки при певному співвідношенні між енергією молекул, та енергією їх взаємодії. При температурах нижчих за певне значення енергії теплового руху стає недостатньо для забезпечення взаємного руху молекул, та кристалізація припиняється.

Механізми кристалізації поділяють на чотири типи: поліморфна, первинна, евтектична та кристалізація з розшаруванням.

Поліморфна кристалізація – це кристалізація, при якій аморфний сплав без усякої зміни концентрації переходить у пересичений твердий розчин, метастабільний чи стабільний кристалічний стан.

Первинна кристалізація – це кристалізація при якій відбувається кристалізація фази, хімічний склад якої відрізняється від складу аморфної фази.

Евтектична кристалізація – це кристалізація при якій проходить виділення двох чи більше кристалічних фаз.

Кристалізація з розшируванням – це кристалізація при якій спостерігається поділ на різні аморфні фази, кожна з яких кристалізується окремо.

Взагалі процес кристалізації аморфного сплаву дуже залежить від технології, та способу його виробництва.

Запитання для контролю знань

1. Запропонуйте легуючі елементи для підвищення жаростійкості сплавів на основі заліза.
2. За яких умов виникає повзучість металів?
3. Від чого залежить жароміцність сталі?
4. Назвіть тугоплавкі метали і сплави.
5. Які легуючі добавки підвищують електричний опір сталі?
6. Охарактеризуйте інвар.
7. Поясніть особливості нітінолу – термічну пам'ять форми.
8. Чим обумовлено існування аморфних металів? Запропонуйте галузі застосування аморфних металів.
9. Які матеріали характеризуються антифрикційними властивостями?

ТЕМА 10 ПОРОШКОВІ МАТЕРІАЛИ

Порошкові матеріали або спечені матеріали виготовляють із порошків металів, їхніх сплавів і тугоплавких сполук (карбідів, нітридів, боридів та ін.) методами порошкової металургії. Відзначаються вони такими унікальними властивостями, що їх можна надати матеріалам у багатьох випадках тільки методами порошкової металургії, раціонально поєднуючи шихтові (вихідні) компоненти. До того ж створення порошкових матеріалів вимагає мінімальних втрат матеріалу.

10.1 Класифікація порошкових матеріалів

За призначенням розрізняють порошкові матеріали: конструкційні, антифрикційні, фрикційні, електроконтактні, інструментальні, магнітні, пористі, корозійностійкі. Є порошкові сплави міді, тугоплавкі метали тощо. *Конструкційні порошкові матеріали* виготовляють в основному з залізного порошку. Їх застосовують у виробництві деталей машин. Для *антифрикційних матеріалів* використовують порошки бронзи, нержавіючої сталі тощо. З них виготовляють підшипники, що їх експлуатують у машинах із застосуванням мастил, в абразивних, корозійних та інших середовищах. Основою деяких *фрикційних матеріалів* є залізні порошки зі спеціальними добавками. Ці

матеріали застосовують у гальмових системах важко навантажених машин. Фрикційними матеріалами на основі бронзи використовуються у вузлах тертя багатьох транспортних, дорожніх та інших машин. З *електроконтактних порошкових матеріалів* на основі порошку вольфраму і срібла, вольфраму і міді виготовляють контакти високовольтних і надпотужних вимикачів та інших пристроїв, з інструментальних порошкових матеріалів на основі, наприклад, порошку сталі — різальний інструмент. *Магнітні порошкові матеріали* використовують для магнітопроводів різних приладів, реле, електромагнітних муфт; пористі — для фільтрів, якими очищають повітря, рідини, паливо тощо; корозійностійкі — для пристроїв хімічної промисловості.

Сплави, які отримують з металевих порошків пресуванням і наступним спіканням без розплавлень, називають порошковими, а спосіб одержання — порошковою металургією.

10.2 Технологія порошкової металургії

Технологія порошкової металургії забезпечує одержання виробів із одного металу, наприклад заліза (такі вироби називають однокомпонентними), а також із суміші порошків металу або металів із неметалами (багатокомпонентні вироби). За цією технологією можна отримати сплави з металів, які не утворюють розчинів, не змішуються в рідкому стані (залізо — свинець, вольфрам — мідь та ін.), а також із металів з неметалами (мідь — графіт, карбід вольфраму — кобальт та ін.).

Схема отримання виробів з порошків складається з таких основних процесів: одержання порошків і підготовка порошкової шихти, формування під тиском і спікання відформованих виробів. У виробничій або дослідницькій практиці іноді зустрічаються відхилення від цих типових елементів технології, наприклад суміщення операцій пресування і спікання, просочення пористого брикету розплавленими металами, додаткова механічна і інша обробка спечених виробів та ін. Однак основний принцип технології — застосування вихідної порошкової шихти і спікання нижче температури плавлення основного елемента, що утворює спресовані тіло — залишається незмінним.

Така схема практично визначає технологію виробництва без відходів і можливість одержання виробів з різними властивостями. Ці вироби можуть бути дуже м'якими або дуже твердими, фрикційними або антифрикційними, магнітнотвердими, з високою електропровідністю і високим електроопором, жаростійкими і холодостійкими.

Запровадження порошкової металургії дає великий економічний ефект. Економія відбувається за рахунок заміни дорогоцінних кольорових металів і легованих сталей, знижується трудомісткість виготовлення виробів, а також витрати електроенергії, транспортні та інші витрати.

Поряд з перевагами порошкової металургії слід відзначити і недоліки, що утруднюють і обмежують широке її поширення. До основних недоліків слід віднести високу вартість порошків металів і відсутність освоєних методів одержання порошків сплавів – сталей, бронз, латуней та ін. Вироби, одержувані з металевих порошків, внаслідок пористості володіють підвищеною схильністю до окислення, причому окислення може відбуватися не тільки з поверхні, але і по всій товщині виробу. Металокерамічні вироби мають також порівняно низькими пластичними властивостями (ударна в'язкість, подовження).

10.3 Способи виготовлення порошків

Порошковий матеріал складається з частинок металу або сплаву з розмірами до 1 мм, що знаходяться у взаємному контакті і не пов'язаних між собою. Металеві частки практично завжди містять домішки, розподілені як по поверхні, так і у вигляді внутрішніх включень, і часто мають пори. Частинки можуть бути різноманітної форми:

- волокнисті або голчасті частинки, довжина яких значно перевищує їх розмір за іншими вимірами;

- плоскі частки (платівки, листочки), довжина і ширина яких у багато разів більше товщини;

- частинки з приблизно однаковими розмірами по всіх вимірах. Частинки відокремлені одна від одної порами та контактними проміжками. Пори в непресованих порошках займають зазвичай 70-85 % усього обсягу.

Порошок можна одержати хіміко-металургійним і фізико-механічним способами.

Хіміко-металургійний спосіб ґрунтується на відновленні металів із оксидів та інших сполук, наприклад при одержанні порошків заліза, міді, вольфраму, електролітичному осіданні з розчинів солей металів (порошки міді, нікелю, цинку, свинцю, олова, хрому та ін.).

Фізико-механічний спосіб полягає в тому, що метали подрібнюють у твердому або рідкому стані. Розпилюванням рідких сплавів одержують порошки алюмінію, цинку, міді, легованих сталей, чавунів. Метал розплавляють у електропечах. Для розпилювання використовують повітря, азот, аргон. Розмелювання проводять на молоткових подрібнювачах. Після цього порошки сортують на фракції за допомогою решіт. Очистивши порошки від домішок, застосовують магнітну сепарацію з наступним промиванням і висушуванням.

Формування здійснюють з одночасним формо-утворюванням заготовок (пресуванням і ущільненням їх). Пресують під тиском 150...300 МПа у прес-формі і дістають заготовки, які потім для поліпшення механічних властивостей піддають спіканню в інертному або відновному середовищі. Деякі матеріали сігають у процесі пресування (гаряче пресування).

10.4 Методи контролю властивостей порошків

Хімічні властивості порошків залежать від змісту основного металу або основних компонентів, що входять до складу комплексних порошків, а також від вмісту домішок, різних механічних забруднень і газів. Також важливими хімічними особливостями порошків є їх займистість, вибуховість і тоскичність. Вміст основного металу в порошку або сума основних компонентів сплаву складає зазвичай більше 98 – 99 %, що для подальшого виготовлення більшості порошкових матеріалів достатньо. У деяких випадках застосовують більш чисті металеві порошки. У металевих порошках міститься значна кількість газів (кисню, водню, азоту та ін.) як адсорбованих на поверхні, так і потрапивших у середину частинок під час виготовлення або при подальшій обробці. Займистість порошку пов'язана з його здатністю до самозаймання при зіткненні з навколишньою середою. Пожежонебезпека залежить від хімічної природи і чистоти металу, крупності і форми часток порошку. Для аерогелей (суспензії металевих частинок у газі) визначають температури самонагрівання, тління, самозаймання, а також енергію займання. Надвисока швидкість хімічної взаємодії порошку з киснем призводить до майже миттєвого виділення енергії, яке супроводжується утворенням і поширенням вибухової хвилі. Характеристики вибуховості залежать від дисперсності металевого порошку, ступеня його окислення та вмісту кисню у газовій фазі.

Ступінь небезпеки для здоров'я людини металевого пилу залежить від його хімічного складу і ступеня окислення, розміру частинок, їх концентрації, тривалості впливу, шляхів проникнення в організм і т.д. Технологічні та санітарно-технічні заходи повинні підтримувати у виробничих приміщеннях концентрацію пилу на рівні нижче норми ГДК.

10.5 Пресування металевих порошків

Основним пристосуванням для пресування металевих порошків є пресформи. Конструкція прес-форми визначається такими факторами, як направлення тиску при пресуванні (одностороннє або двостороннє); застосовуваний спосіб виймання виробу з прес-форми (виштовхування або розбирання пресформи); кількість одночасно пресованих виробів; ступінь автоматизації процесів.

10.6 Технологічні режими спікання порошків

Спікання – це нагрівання і витримка спресованих порошків при температурі нижче точки плавлення основного компонента з метою забезпечення заданих механічних та фізико-хімічних властивостей. Для однокомпонентних систем технологічна температура спікання складає 0,6- 0,9 від температури плавлення основного компонента. Багатокомпонентні системи спікають при температурі плавлення найбільш легкоплавкого компонента.

У процесі проведення спікання утворюється міцне порошкове тіло з властивостями, які наближаються до властивостей компактного безпористого матеріалу.

Під час спікання відбувається:

- зміна розмірів, структури і властивостей вихідних порошкових тіл;
- протікають процеси граничної, поверхневої та об'ємної дифузії;
- спостерігаються різні дислокаційні явища;
- протікають хімічні реакції та різні фазові перетворення;
- має місце релаксація мікро- і макронапружень;
- відбуваються процеси рекристалізації, тобто спостерігається зростання зерна матеріалу.

10.7 Застосування порошкових матеріалів

Методом порошкової металургії можна отримати такі сплави, які важко або зовсім неможливо отримати іншими відомими способами. Наприклад, різні сплави з металів: вольфрам-мідь, вольфрам-срібло тощо, а також із металів і неметалів: мідь-графіт, срібло-окис кадмію і т.д., які знаходять широке поширення в електро- і радіотехніці.

Методом порошкової металургії можна також отримати сплави з точно заданим складом, що володіють дуже низьким або високим електроопором. Металокерамічні матеріали застосовують при виготовленні ламп розжарювання, у рентгенівських трубках, катодних лампах, випрямлячах і підсилювачах, генераторних лампах, газотронах і т.д. Так, наприклад, для виготовлення ниток розжарювання звичайних освітлювальних ламп застосовується вольфрам, одержуваний методами порошкової металургії. Промислове використання високих потенціалів висуває необхідність у розробці контактних пристроїв з тугоплавких матеріалів, які повинні мати високу теплопровідність і електропровідність, мати високу ступінь міцності в умовах ударних навантажень при високих температурах, незначну схильність до зварювання та прилипання. Сучасні різці з твердих сплавів, отримані методом порошкової металургії, викликали справжню революцію в обробці металів різанням і в гірничій справі. Швидкість обробки металів збільшилася в десятки разів. Успішно застосовуються в промисловості різні металокерамічні антифрикційні матеріали, а також пористі підшипники, фільтри і багато інших виробів.

Запитання для контролю знань

1. У чому переваги деталей, отриманих із застосуванням порошкової металургії?
2. Перелічте найбільш відомі групи металокерамічних матеріалів. Порівняйте їх властивості.
3. Назвіть основні операції при одержанні порошкових деталей. Навіщо потрібна операція спікання заготовок?
4. Опишіть переваги і недоліки механічного і фізико-хімічного методів одержання металевих порошків.
5. Назвіть марки порошкових матеріалів групи магнітних і твердосплавних металокерамічних матеріалів.

ТЕМА 11 КОРОЗІЯ МЕТАЛІВ

За звичайних умов метали можуть вступати в хімічні реакції з речовинами, що містяться в навколишньому середовищі, — киснем і водою. На поверхні металів з'являються плями, метал становиться крихким і не витримує навантажень. Це призводить до руйнування металевих виробів, на виготовлення яких було затрачено велику кількість сировини, енергію та багато людських зусиль. Корозія може призвести до екологічних катастроф: потрапляння природного газу, нафти, небезпечних хімічних продуктів у навколишнє середовище. Вона недопустима в авіаційному, нафтовому, атомному, хімічному машинобудуванні тощо. Продукти корозії негативно впливають на життя та здоров'я людей.

Корозія викликається такими чинниками:

- кисень і атмосферна волога;
- кислотні оксиди, що містяться в атмосфері: оксиди карбону, сульфуру (*S*), нітрогену (*N*);
- морська вода;
- ґрунтова волога.

Дуже сильно прискорюється процес корозії при контакті металів з солоною водою. З цієї причини кораблі іржавіють у морській воді швидше, ніж у прісній.

Корозія металів – процес руйнування металів при їх взаємодії з зовнішнім середовищем: повітрям, водою, розчинами електролітів тощо. До основних видів корозії відносять хімічну, електрохімічну, а також біологічну.

11.1 Хімічна корозія

Хімічна корозія відбувається в різних хімічних виробництвах. В атмосфері активних газів (водню, сірководню, хлору), у середовищі кислот, лугів, солей, а також у розплавах солей і інших речовин відбуваються специфічні реакції із залученням металевих матеріалів, із яких зроблені апарати, в яких здійснюється хімічний процес.

Хімічна корозія відбувається в середовищах обумовлюється дією на метали неелектролітів (спирту, бензину, мінеральних масел тощо). Газова корозія відбувається під дією сухих газів при підвищених температурах. Під її вплив попадають арматура печей, деталі двигунів внутрішнього згоряння.

У результаті взаємодії металів із зовнішнім середовищем їх поверхня вкривається тонким шаром (плівкою) різних хімічних сполук (продуктів корозії). Інколи цей шар такий щільний, що крізь нього не може проникати агресивне середовище. В таких випадках з часом швидкість корозії зменшується або зовсім припиняється. Наприклад, *Al* в атмосфері повітря кородує значно повільніше від *Fe*, хоч за своїми хімічними властивостями алюміній активніший від заліза. Це пояснюється тим, що поверхня алюмінію вкривається суцільною, досить щільною і міцною плівкою, яка ізолює метал від доступу кисню, а оксидна плівка заліза, навпаки, є крихкою і ламкою, містить багато пор і тріщин, через що кисень повітря крізь неї легко проникає до поверхні заліза, і тим обумовлюється безперервне його руйнування.

11.2 Електрохімічна корозія

Електрохімічна корозія більш поширена і завдає значно більшої шкоди, ніж хімічна. Вона виникає при контакті двох металів у середовищі водних розчинів електролітів.

Електрохімічній корозії сприяють такі чинники:

- положення металів у ряду активності: чим далі один від одного вони розміщені, тим швидше відбувається корозія;
- чистота металу (домішки прискорюють корозію);
- нерівності поверхні, мікротріщини;
- висока температура і вологість;
- дія мікроорганізмів, грибів, лишайників;
- ґрунтові води, морська вода, розчини електролітів.

На відміну від хімічної електрохімічна корозія супроводжується переміщенням валентних електронів з одної ділянки металу на іншу, тобто виникненням місцевих електричних струмів внаслідок утворення на кородуючій поверхні так званих гальванічних пар. При зануренні цинкової пластинки в кислоту атоми цинку з її поверхні поступово переходять у розчин у вигляді іонів Zn^{2+} , а їхні валентні електрони залишаються на поверхні металу. Внаслідок цього на границі метал — електроліт утворюється подвійний електричний шар (рис. 11.1).

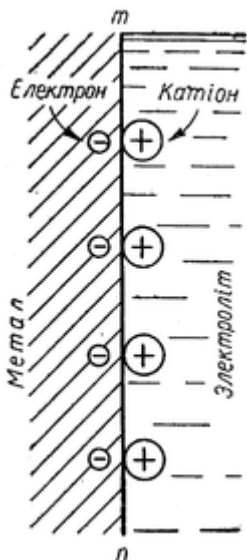


Рисунок 11.1 – Подвійний електричний шар на границі метал – електроліт

Внутрішню обкладку цього шару утворюють негативні заряди надлишкових електронів (позначених знаком —), а зовнішню обкладку — позитивні заряди іонів цинку (позначених знаком +). Внаслідок взаємного притягування протилежних зарядів іони цинку, що переходять у розчин, розміщуються поблизу поверхні металу. Подальший процес розчинення цинку стає можливим лише завдяки тому, що іони водню підходять до поверхні цинку і приєднують надлишкові електрони. При цьому іони цинку перестають утримуватись у подвійному електричному шарі негативними зарядами і вільно проникають у глибину розчину, а на їх місце з поверхні металу переходять нові іони Zn і т. д.

Таким чином, приєднання надлишкових електронів з поверхні металу іонами водню електроліту забезпечує безперервний перехід іонів цинку в розчин, тобто його розчинення (рис. 11.2).

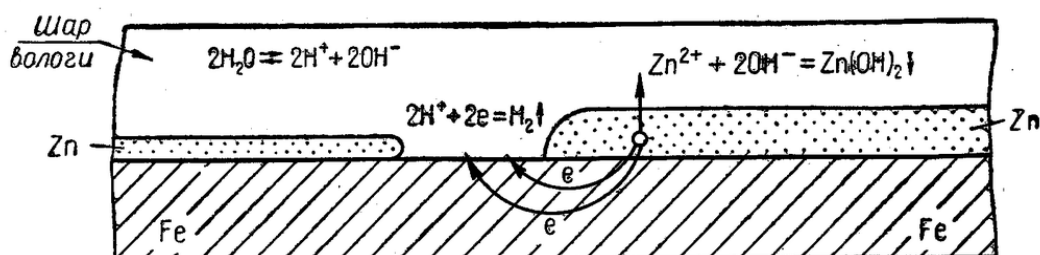
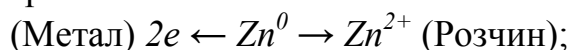


Рисунок 11.2 – Схема корозії оцинкованого заліза

З цього виходить, що процес розчинення цинку в кислоті складається з двох паралельних процесів:

- з віддачі атомами цинку валентних електронів (окиснення цинку) і переходу іонів-цинку в розчин:



- і з приєднання надлишкових електронів іонами водню (відновлення іонів водню) і виділення вільного водню:



Обидва ці процеси відбуваються на поверхні того самого металу — на цинковій пластинці. Але при певних умовах їх можна просторово роз'єднати. Так, коли поряд з цинковою пластинкою занурити в розчин мідну і обидві пластинки з'єднати металічним провідником, то перший процес (розчинення цинку) буде відбуватися на цинковій пластинці, а другий (відновлення іонів водню) — на мідній.

Мідь, як відомо, з розведеною сульфатною кислотою не взаємодіє. Тому іони міді не переходять у розчин і на її поверхні не буде надлишків електронів. Але коли обидві пластинки з'єднати мідною дротиною, то концентрація надлишкових електронів почне вирівнюватись на обох пластинках і електрони з цинкової пластинки почнуть переміщатися на мідну. Однак концентрація електронів, на обох пластинках не може бути однаковою. Це пояснюється тим, що іони водню легше приєднують електрони на поверхні міді, ніж на поверхні цинку. Через це процес відновлення іонів водню і виділення вільного водню буде відбуватися на мідній пластинці, а на цинковій майже зовсім припиниться. Але швидкість розчинення цинку при цьому значно збільшиться, оскільки надлишкові електрони, з поверхні цинку будуть швидко переміщатися на мідну пластинку і там приєднуватися іонами водню.

Приклад розчинення цинку, що перебуває в контакті з міддю, у розчині сульфатної кислоти є прикладом утворення і роботи гальванічних пар, які лежать в основі електрохімічної корозії. Гальванічні пари можна утворювати з будь-яких двох металів, які контактують між собою і занурені в розчин електроліту. При цьому швидкість кородування активнішого металу значно збільшується, а менш активний метал зовсім не кородує. На ньому відбувається лише відновлення іонів водню тими електронами, що прибувають з поверхні активнішого металу.

11.3 Біокорозія

Біокорозія – руйнування конструкційних матеріалів та протикорозійного захисного покриття під дією присутніх в середовищі бактерій, грибів, водорослів, дріжджів). Перші відомості про участь мікроорганізмів у корозії матеріалів з'явилися в кінці 19 ст. Освоєння повітряного і водного просторів, надр Землі супроводжується неминучим поширенням мікроорганізмів та збільшенням масштабів біокорозії. Помітний збиток наносить біокорозія в нафто- і газодобувній промисловості, трубопроводному транспорті, морському флоті та засобах зв'язку і водопостачання.

Вважають, що у процесі життєдіяльності мікроорганізмів утворюються продукти обміну речовин, які підвищують корозійну активність середовища. Зокрема, корозія нафто і газопроводів обумовлена діяльністю бактерій, що підвищують агресивність ґрунту та ґрунтових вод внаслідок утворення H_2S . Деякі види бактерій виробляють H_2SO_4 , знижуючи pH ґрунту до $\sim 0,5$.

11.4 Засоби захисту від корозії

Корозія металів завдає величезних збитків господарству. Внаслідок корозійного руйнування втрачається близько 10 % щорічного видобутку металів. Тому заходам боротьби з корозією приділяється значна увага. Способів боротьби з корозією багато і вони досить різноманітні. Зупинити корозію неможливо, але її можна сповільнити. Існує багато способів захисту металів від корозії, але основним прийомом є запобігання контакту заліза з повітрям. Шляхи захисту від корозії:

- захисні покриття: лакування, фарбування, емалювання;
- покриття виробу іншими металами, стійкішими до корозії: позолота, хромування, цинкування тощо;
- створення нових антикорозійних сплавів;
- протекторний захист;
- використання інгібіторів корозії.

Одним з найпоширеніших способів боротьби з корозією є покриття металу (головним чином заліза) масляними фарбами. Захисна дія фарби ґрунтується на тому, що оліфа утворює на поверхні металу суцільну еластичну плівку, яка ізолює метал від дії атмосферних хімічних агентів. Інколи для захисту металу від корозії (наприклад, алюмінію і деяких сталей виробів) штучно створюють оксидну плівку обробкою їх поверхні сильними окисниками.

Значного поширення одержав також спосіб покриття одного металу іншим. Наприклад, цинкування заліза. З цією метою залізні листи занурюють на короткий час у розплавлений цинк. Сам по собі цинк в атмосфері повітря не піддається корозії, оскільки на його поверхні утворюється досить стійка захисна оксидна плівка ZnO . При пошкодженні цинкового шару (тріщини, подряпини тощо) цинк з залізом у присутності вологи повітря утворює гальванічну пару. При цьому електрохімічному корозійному руйнуванню піддається цинк як активніший метал, а залізо не руйнується доти, поки не буде

зруйнований весь захисний шар цинку. Конкуренцію традиційному цинкуванню складає покриття сталевих листів алюцинком.

На цьому ж принципі ґрунтується і так званий протекторний спосіб захисту металів від корозії. Суть цього способу полягає в тому, що металеву конструкцію з'єднують металічним провідником із активнішим металом, який піддається корозійному руйнуванню. Наприклад, у парові котли інколи вводять листи цинку, які сполучають залізними стержнями зі стінками котла. При цьому утворюється в середовищі води гальванічна пара, внаслідок чого цинк, як активніший метал руйнується, а залізні стінки котла не піддаються корозії. Так само можна захищати і підземні трубопроводи.

Інколи металеві вироби вкривають захисним шаром менш активного металу. Залізні листи занурюють на короткий час у розплавлене олово, яке добре захищає залізо доти, поки його шар суцільний. Але коли захисний шар пошкоджується і залізо приходить у дотик з агресивним середовищем, воно з оловом утворює гальванічну пару і залізо як активніший метал піддається корозійному руйнуванню. При цьому залізо кородує значно скоріше, ніж у випадку, коли воно не вкрите шаром олова.

Досить поширеним є гальванічний спосіб покриття одного металу іншим шляхом електролізу. Цим способом вкривають нікелем, хромом, міддю, сріблом, золотом або іншими металами. Гальванічним способом можна наносити дуже тонкий і рівномірний шар захисного металу. Гальванічні покриття не тільки захищають металічні вироби від корозії, а й надають їм гарного зовнішнього вигляду.

Для боротьби з корозією в середовищі рідин застосовують спеціальні добавки, так звані інгібітори, тобто сповільнювачі корозії. Інгібіторами можуть бути різні речовини: хромат натрію, дихромат калію, фосфат натрію тощо, а також органічні речовини. Інгібітори сприяють утворенню на кородуючій поверхні металу міцної захисної плівки, внаслідок чого швидкість корозії може зменшуватись у десятки і сотні разів. Особливо важливу роль відіграють інгібітори при взаємодії металів з кислотами. Так, наприклад, коли додати деякі інгібітори до хлоридної кислоти, то її можна зберігати в сталевій тарі, хоч хлоридна кислота з залізом взагалі реагує досить енергійно.

Крім того, останнім часом стали широко застосовувати сплави з високими антикорозійними властивостями. Такі сплави одержують шляхом добавок до основного металу інших металів — нікелю, кобальту, хрому і ін. Прикладом антикорозійних сплавів може служити сталь із вмістом 15 – 20 %. Така сталь цілком стійка до дії кислот. З неї виготовляють різну хімічну апаратуру.

Головний засіб боротьби з біокорозією — обробка природних і технологічних середовищ бактерицидними препаратами (хлором і його сполуками, формаліном та ін.) Однак така обробка не завжди можлива з економічних і санітарних міркувань. Тому перспективно введення до складу конструкційних матеріалів та захисних покриттів речовин, які пригнічують або знищують мікрофлору, а також електрохімічний захист.

Запитання для контролю знань

1. Корозію металів іноді образно називають «рудим дияволом». Поясніть причини такої назви.
2. Алюміній значно активніший від заліза. Але чому він кородує значно повільніше за нього?
3. Де корозія відбувається швидше: в сухому чи вологому кліматі? Чому саме так?
4. Які способи захисту від корозії ви знаєте?
5. У чому відмінність електрохімічної корозії від хімічної?
6. Від яких чинників залежить швидкість руйнування металу хімічною і електрохімічною корозією?
7. У яких металів на поверхні утворюється плівка, що захищає їх від корозії?
8. У чому суть впливу легування на корозійну стійкість металів?
9. Чому покриття, що захищають метал від корозії, повинні оберігатися від пошкоджень?

ТЕМА 12 ПОНЯТТЯ ПРО МЕТАЛУРГІЮ

Металургія – галузь науки та промисловості, яка пов'язана з первинним отриманням металів. Тобто металургія займається виробництвом металів із руд та інших видів сировини. Металургійний комплекс займається видобутком руд, виплавою металів, їх сплавів та виробництвом прокату. Він є базовим для розвитку машинобудування. Комплекс складається з гірничовидобувної промисловості, чорної та кольорової металургії.

Підприємства *чорної металургії* виплавляють чавун, сталь, а також надають їм відповідну форму (прокат).

Підприємства *кольорової металургії* займаються виплавою легких, важких, благородних, рідкоземельних металів та виробництвом сплавів.

Значний розвиток металургії в Україні (введення нових доменних, мартенівських, конвертерних та електросталеплавильних печей та прокатних станів) почався у 1928-1935 рр. У цей період розпочалося будівництво нових металургійних заводів: «Запоріжсталь», «Азовсталь», «Криворіжсталь», «Дніпроспецсталь», заводу феросплавів та алюмінієвого заводу в Запоріжжі. У 1966 р. було введено в експлуатацію Броварський завод порошкової металургії, а в 1971 р. – завод феросплавів у Нікополі.

Більшість металургійних підприємств України мають повний цикл виробництва і щорічно виплавляють від 1 до 10 млн тонн сталі. Україна має 14 металургійних комбінатів і всі вони відносяться до числа найбільших підприємств світу. До найбільших металургійних підприємств України відносяться «Криворіжсталь», «Азовсталь», Алчевський МК, «Запоріжсталь» та «Дніпроспецсталь».

Чорна металургія – одна з провідних базових галузей господарського – комплексу нашої держави. Металомістке машинобудування – основний споживач її продукції. Україна посідає VI місце у світі за виплавою чавуну та сталі. Вітчизняні труби великого діаметру експортуються у різні країни світу. Для подальшого розвитку та вдосконалення чорної металургії Україна має всі

необхідні умови: величезну, компактно розміщену сировинну базу (залізні та марганцеві руди, коксівне вугілля, вогнетривкі, флюсові вапняки тощо). Перспективи подальшого розвитку вбачаються у вдосконаленні виробництва, впровадженні сучасних енерго- та матеріалозберігаючих технологій, підвищенні якості продукції тощо.

Металургійні підприємства поділяють на 4 види:

1 – підприємства повного металургійного циклу, до складу яких входять три основних ланки виробництва чорної металургії: доменна, сталеплавильна та прокатна;

2 – підприємства неповного металургійного циклу зі сталеплавильним і/або прокатним виробництвами;

3 – металургійні комбінати, до складу яких крім основних виробництв входять гірничорудні цехи, агломераційні фабрики, коксохімічні заводи та заводи переробки основних продуктів;

4 – комбіновані підприємства, до складу яких крім основних виробництв входять металообробні, машинобудівні підприємства, ТЕС, транспортні підприємства тощо.

Виробництва, в яких представлені всі головні ланки чорної металургії (виробництво чавуну, сталі та прокату), називаються комбінатами повного циклу. Комбінати повного циклу територіально розміщені в трьох металургійних районах: Придніпров'ї, Донбасі та Приазов'ї.

У *Придніпровському металургійному районі* виробляється половина чавуну та сталі країни. Із 32 великих металургійних підприємств України у Придніпров'ї розміщено 14. Цей металургійний район зорієнтований на власні величезні запаси сировини: залізних та марганцевих руд. Із Донбасу сюди завозять коксівне вугілля, із Криму – флюсові вапняки. У Придніпров'ї сформувалися такі великі промислові вузли та центри: Дніпропетровський (Дніпропетровськ, Новомосковськ, Дніпродзержинськ), Запорізький (2 комбінати у Запоріжжі) та Криворізький (Кривий Ріг та Нікополь).

Донецький металургійний район дає третину продукції чорної металургії України. Він об'єднує великі вузли та центри, які виникли навколо родовищ коксівного вугілля та флюсових вапняків. Залізні та марганцеві руди сюди завозяться з Придніпров'я. На Донбасі сформувалися такі вузли металургійної промисловості: Донецько-Макіївський, Єнакієвський, Алчевсько-Алмазницький (Алчевськ, Луганськ). Крім того у Донецькому районі, виділяються і окремі центри чорної металургії: Краматорськ, Стаханов і Харцизьк.

Приазовський район об'єднує потужні металургійні підприємства Маріуполя. Він сформувався на перетині транспортних шляхів сполучень, якими сюди завозиться необхідна сировина. Залізні та марганцеві руди надходять з Придніпров'я, коксівне вугілля та флюсові вапняки – із Донбасу, залізні руди з Керченського родовища.

Загальні запаси Залізних руд України складають 27,4 млрд.т. Майже 80 % усіх запасів знаходиться в Криворізькому залізрудному басейні. Вміст заліза в руді – 25-70 %.

12.1 Виробництво агломерату

Вихідною сировиною для металургійних процесів служить продукт збагачення руд – однорідний дрібнодисперсний концентрат. Цей продукт готують до використання шляхом агломерації – ошматування агломерату спіканням чи одержанням окатишів. Процес відбувається в агломераційній машині. Розмір шихти впливає на процес агломерації, тому розміри часток не повинні перевищувати 3 мм. Шихту подають на колосникові грати агломераційної машини шаром 250-400 мм на шар дрібного агломерату, що носить назву «постіль». Під ґратами створюється зона розрідження 7-10 кПа, у результаті чого з поверхні через шар шихти надходить повітря. Верхній шар нагрівають і за температури 750-858 °С запалюють. Горіння поширюється вниз, температура в палаючому шарі досягає 1300-1500 °С. Зона горіння в шарі переміщується вниз зі швидкістю 10-40 мм/хв. Тривалість процесу горіння складає 10-15 хв, а особливість полягає в тому, що у кожен момент часу горіння відбувається у вузькому шарі шихти. Хоча процес проводиться в надлишку повітря, але біля палаючих часток палива створюється відновне середовище. Відбувається часткове відновлення оксидів заліза ($Fe_2O_3 \rightarrow Fe_3O_4$). Крім того відбувається відновлення сульфідів ($FeS \rightarrow Fe + SO_2$), вигорає 98% сульфідної і до 80% сульфатної сірки, сублімує As. Таким чином, у процесі агломерації відбуваються ошматування руди і видалення шкідливих домішок – сірки та миш'яку. У результаті спікання одержують продукт, який після охолодження дроблять і направляють на просіювання.

Продуктивність однієї агломераційної машини 1600-1800 т/добу.

12.2 Виробництво коксу

Паливо доменної печі є не лише джерелом енергії, але й реагентом, який забезпечує відновлення заліза з руди. Тому паливо повинне відповідати вимогам: висока теплотворна здатність, малий вміст золи та вологи, чистота за вмістом шкідливих домішок, висока механічна міцність, пористість для забезпечення інтенсивності горіння, а до того воно ж має бути недефіцитним та недорогим. Таким вимогам відповідає кам'яновугільний кокс. Його отримують із спеціального коксівного вугілля з вмістом летких речовин 18-26 %, які вилучаються в процесі коксування, а тверда маса спікається і утворює пористе паливо – кокс, який має теплоту згорання 23-31 МДж/кг і містить у собі 0,5-1,8 % сірки, та 6-16 % золи (рис. 12.1).

Одержання коксу складається з таких стадій:

- підготовка вугільної шихти перемішуванням вугілля різних марок (розмір часток не повинен перевищувати 3 мм);
- нагрівання шихти без доступу повітря в спеціальних печах до 1100-1200°C.

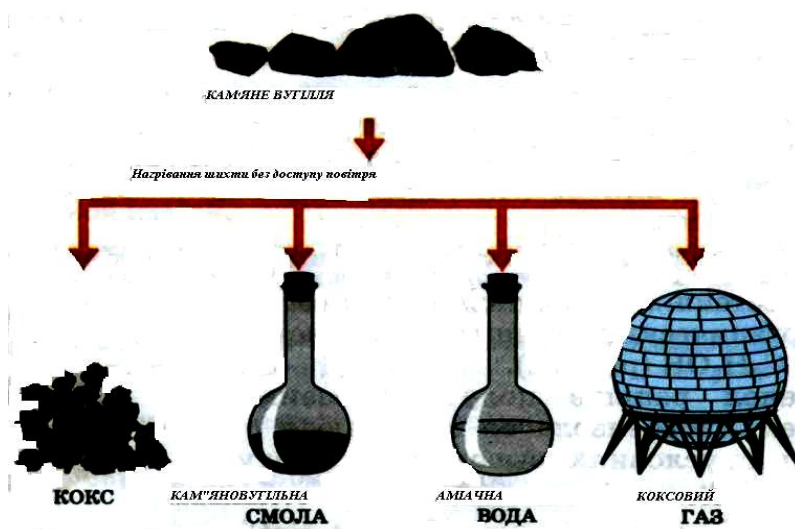


Рисунок 12.1 – Продукти коксування вугля

Печі складаються з камер прямокутного перетину 14*0,4*5м, об'єднаних у коксові батареї по 40-80 печей. У печі зверху завантажують вугілля. У кожен піч завантажують 22 т шихти. Продуктивність коксової батареї досягає 1500 т/добу. Між печами розташовані опалювальні простінки, у яких спалюють газ. На торцях камер розташовані розсувні двері для виштовхування коксу. Тривалість коксування 14-16 годин. Передача тепла здійснюється від стінок камери до центру, тому в кожен момент часу на різних відстанях від стінок відбуваються різні стадії коксування:

- до 250 °С – випаровування вологи, виділення O_2 ;
- за 300 °С – починається виділення парів смоли;
- вище 350 °С – спечене вугілля переходять у пластичний тістоподібний стан;
- від 500 °С починається бурхливе розкладання пластичної маси з виділенням газів, смоли й утворення твердого напівкоксу;
- від 700 °С – подальше розкладання напівкоксу, виділення, головним чином, Нг, напівкокс дає усадку;
- вище 700 °С відбувається зміцнення коксу. Летючі продукти, стикаючись з поверхнею стінок камери і розпечених часток коксу піддаються піролізу і виділяють суміш газів (H_2 , CH_4) та парів поліциклічних ароматичних вуглеводнів;
- коксовиштовхувачем кокс подається в гасильний вагон.

У результаті коксування з 1т шихти одержують 650-750 кг коксу, 140 кг коксового газу (після уловлювання бензолу, фенолу, смоли, аміаку одержують суміш 55-60% H_2 і 20-25% CH_4 – паливо, що має теплоту згорання 17,5-18,5 МДж/м³), 30 кг кам'яновугільної смоли, 10 кг сирого бензолу, 3 кг аміаку, сірководень.

12.3 Виробництво чавуну

Виробництво чавуну – складний технологічний процес, який окрім, доменного процесу включає підготовку вихідних матеріалів для доменної плавки та первинного перероблення отриманих продуктів плавки – чавуну, шлаку та доменного газу. Вихідними матеріалами для отримання чавуну є

залізорудні матеріали (руда, агломерат, окатиші), флюси і кокс. Їхню суміш, складену у відповідних пропорціях, називають доменною шихтою. На металургійний завод залізорудні матеріали надходять у вигляді агломерату. Разом із коксом та флюсами їх завантажують у доменну піч зверху (рис. 12.2).

До́менна піч, до́мна — металургійна піч шахтного типу (тобто вертикально розташована) для виплавки чавуну або феросплавів із залізорудної сировини. Для зниження температури плавлення пустої породи шихтових матеріалів і утворення шлаку з потрібними властивостями у шихту доменної печі додають флюси (вапняк або інші). Паливом доменної печі є кам'яновугільний кокс, у ролі його часткових замінників можуть бути використані природний газ, коксовий газ, мазут, пиловугільне паливо.

Доменна піч споруджується на фундаменті, що слугує для рівномірної передачі тиску печі з завантаженими у неї сирими матеріалами на ґрунт. Фундамент поділяється на дві частини — верхню, надґрунтову, що зветься пнем, і нижню, що зветься підшою. При слабкому ґрунті фундамент можуть спирати на штучні основи, наприклад на палі. Верхня частина фундаменту робиться з жароміцного бетону бо фундамент доменної печі зазнає інтенсивного теплового впливу.

На горизонтальну поверхню верхньої частини фундаменту кладуть вогнетривке мурування дна горну — під.

Доменна піч ззовні поміщається у металевий кожух, зроблений зварюванням між собою вальцованих листів з високоміцної сталі. Товщина кожуха поду і горну становить 30-50 мм, за плечиків — 30-50 мм, шахти, колошника і купола печі — 22-45 мм. На печах об'ємом до 3000 м³ кожух поду, горну і заплечиків спирається на фундамент. Кожух шахти спирається на колони, для чого його нижня частина закінчується опорним кільцем (маратором). Опорне кільце підтримує кожух і вогнетривке мурування шахти й передає навантаження від конструкцій верхньої частини печі на колони.

Нижня частина колон кріпиться до фундаменту печі. На печах встановлюють чотири опорних колони. Для надання більшої стійкості й кращого доступу до горну колони встановлюють з певним нахилом. На печах об'ємом понад 3000 м³ мараторне кільце відсутнє і колошниковий пристрій спирається на шість колон або на шатро будівлі ливарного двору.

Зсередини доменна піч футерується вогнетривким муруванням. Для футерування доменної печі використовують шамотну, високоглиноземисту і вуглецеву цеглу. При муруванні футеровки шви між цеглами заповнюють розчином, виготовленим із мертелів, що відповідають класу цегли. Мертель являє собою вогнетривкий порошок, що складається з подрібненого шамоту і вогнетривкої глини.

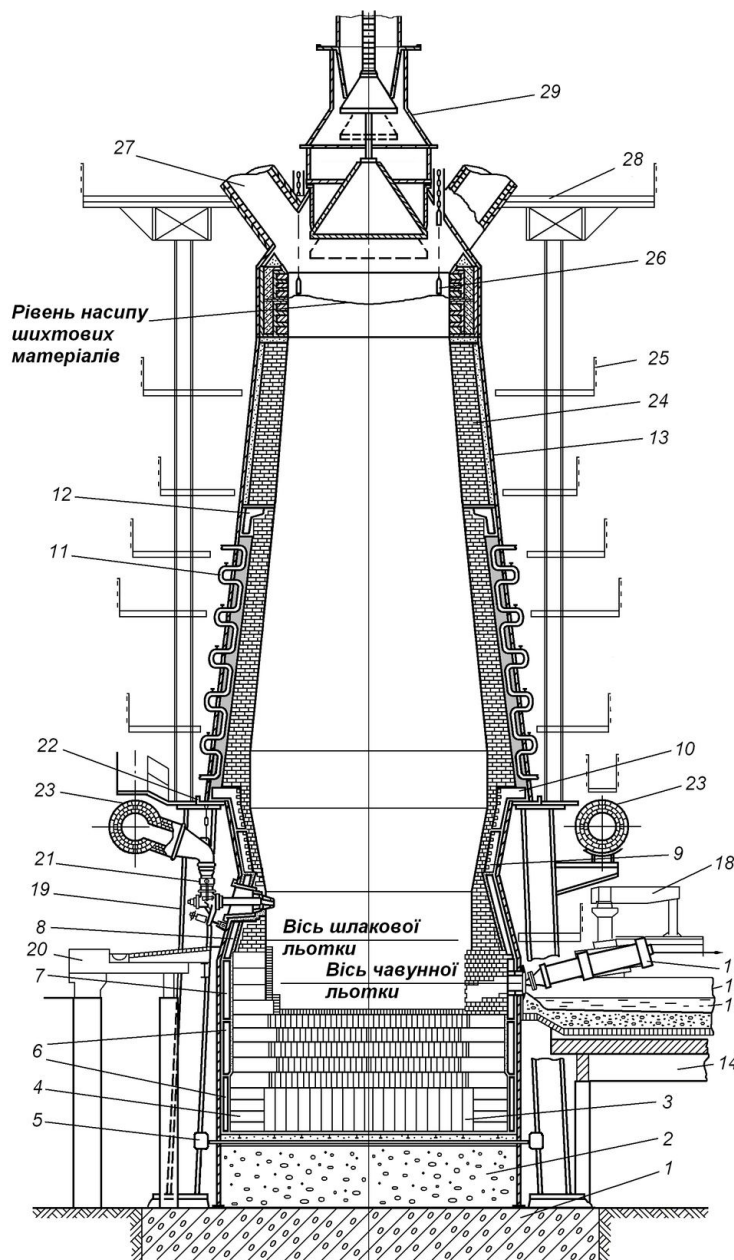


Рисунок 12.2 – Конструкція доменної печі:

1 – нижня частина фундаменту, 2 – «пеньок», верхня частина фундаменту, 3 – графітовані блоки, 4 – вуглицеві блоки, 5 – система охолодження дна, 6 – подові холодильники, 7 – ряд горнових холодильників, 8 – холодильники фурменної зони, 9 – ряд холодильників заплечиків, 10 – верхній ряд холодильників заплечиків, 11 – система охолодження шахти печі, 12 – горішній ряд холодильників, на які спирається мурування неохолоджуваної частини шахти печі, 13 – кожух печі, 14 – ливарний двір, 15 – головний жолоб, 16 – продукти плавки – чавун і шлак – у головному жолобі, 17 – гармата, підведена до льотки, 18 – машина для розкриття чавунної льотки у вихідному положенні, 19 – колони, на які спираються шахта печі і металоконструкції по шахті печі і колошниковий пристрій, 20 – майданчик фурменної зони, 21 – пристрій для подачі дуття у доменну піч, 22 – мараторне кільце, 23 – кільцевий повітропровод, 24 – неохолоджувана частина шахти печі, 25 – перехідні майданчики на різних горизонтах печі, 26 – ланцюгові зонди, 27 – газовідводи, 28 – колошниковий майданчик, 29 – завантажувальний пристрій

Для зменшення руйнування вогнетривкого мурування між кожухом і муруванням встановлена система охолодження. По периметру до кожуху кріпляться плитові холодильники. Плитові холодильники являють собою металеву плиту з чавуну з розташованим у ній зміяком зі сталевих безшовних труб, по якому циркулює вода. Шахта печі на 2/3 висоти охолоджується вертикальними холодильниками або рядами труб, залитих у бетон стінок шахти. Для охолодження шахти печі використовують систему випарувального охолодження.

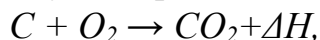
Для доступу до різних ділянок печі і обладнання, вона зовні опоясується перехідними майданчиками.

У нижній частині доменної печі в її стінці і муруванні робляться спеціальні отвори для періодичного випуску рідких продуктів плавки — чавуна і шлаку — чавунні і шлакова льотки. На доменних печах великого об'єму встановлюють чотири чавунних льотки.

Сучасна доменна піч є спорудою заввишки від 26 до 35 м.

Умовно доменний процес, що протікає в доменній печі можна поділити на етапи: горіння палива – вуглецю (коксу); розкладання компонентів шихти; науглецювання заліза; шлакоутворення. Ці етапи процесу відбуваються в печі одночасно на різних рівнях. У печі безперервно рухається згори донизу потік шихти, а знизу догори – потік газів, які утворюються у процесі горіння палива. Суть доменної плавки полягає у відновленні заліза з оксидів у руді, науглецюванні заліза та зв'язуванні пустої породи.

Кисень за рахунок дуття вступає в реакцію з вуглецем коксу



де $-\Delta H$ означає, що реакція іде з виділенням тепла.

Діоксид вуглецю за температури 1000 °С та середовища вуглецю розжареного коксу відновлюється в монооксид вуглецю $CO_2 + C \rightarrow 2CO - \Delta H$, (де $-\Delta H$ означає, що реакція іде з поглинанням тепла).

Окиснення вуглецю у доменному процесі забезпечує необхідне для плавки тепло, окрім цього вуглецем та його оксидом відновлюються оксиди та науглецьовується залізо.

Одразу після відновлення заліза починається процес його науглецювання з утворенням карбіду заліза (Fe_3C). Окрім вуглецю в залізі одночасно розчиняються відновлені Mn ; Si ; P , а також S з коксу.

У міру розчинення домішок знижується температура плавлення сплаву. Якщо для чистого заліза вона становить 1539 °С, то для чавуну 1100-1350 °С в залежності від кількості домішок. Із флюсів, порожньої породи та золи коксу утворюється шлак, до складу якого входять: кремнезем, оксид кальцію, глинозем.

Продукти плавки (%):

- чавун – 16,5;
- шлак – 9;
- доменний газ – 69,5;
- колошниковий пил – 5.

12.4 Виробництво сталі

Значення сталі, як матеріалу, в народному господарстві дуже велике. Рівень економічного розвитку країни насамперед залежить від кількості та якості сталі, що виплавляється. У світовому виробництві сталі частка конвертерної становить приблизно 59,5 %, електросталі – 34,8, мартенівської – 2,5, інших видів плавок – 3,2 %. Річне виробництво сталі, що припадає на душу населення, у країнах із розвинутою промисловістю становить 400-600 кг.

В Україні загальна потужність сталеплавильного виробництва становлять приблизно 40 млн. тонн сталі за рік. Приблизно 49,2 % усієї сталі виробляється в конвертерах, 47,9 – у мартенівських печах і 2,8 % – в електропечах.

Сталь – це сплав заліза з вуглецем та іншими хімічними елементами (домішками), розчиненими в залізі. Домішки впливають на властивості сталі як позитивно, так і негативно, тому їх поділяють на корисні та шкідливі. Основною домішкою в сталі є вуглець, вміст якого становить від 0,05 до 2,14 %. *Корисні домішки* – це Mn (0,3-0,6), Si (0,15-0,3%), Cr, Ni, Co, W. *Шкідливі домішки* – S; P; N; O, вміст яких обмежується сотими і тисячними частками відсотка. Змінюючи вміст вуглецю можна отримати сталі з різними механічними властивостями. Але фізичні властивості сталі поліпшують додаванням легуючих елементів отримуючи особливі фізико-хімічні властивості, яких вуглецеві сталі не мають. Такі сталі називають *легованими*.

За хімічним складом сталь поділяють на низьковуглецеву (C менше ніж 0,25 %), середньовуглецеву (C – 0,25-0,6 %), високовуглецеву (понад 0,6 % C) і леговану, в тому числі хромисту, марганцевисту (манганову), хромонікелеву. Леговану сталь, у свою чергу, поділяють на низьколеговану (містить до 2 % одного легуючого елемента або до 3,5 % кількох), середньолеговану (вміст одного легуючого елемента не перевищує 8 % або вміст кількох не перевищує 12 %) і високолеговану (містить щонайменше 8 % одного легуючого елемента або 10 % кількох). Залежно від вмісту шкідливих домішок (сірки та фосфору) сталь поділяють на сталь звичайної якості (вміст не перевищує 0,07 % S і 0,09 % P), якісну (вміст сірки і фосфору не перевищує 0,045 %) і високоякісну (вміст сірки та фосфору не перевищує 0,025 % кожного).

За призначенням сталь поділяють на:

- *конструкційну* – використовують для виготовлення металевих конструкцій (для спорудження будинків та мостів, виробництва різних машин). Конструкційна сталь може бути як проста вуглецева, так і легована. Легована сталь дорожча, але має кращі механічні властивості;

- *інструментальну* – використовують для виготовлення інструментів, валків прокатних станів, деталей ковальського та штампувального устаткування. Інструментальна сталь зазвичай містить велику кількість вуглецю (іноді до 2 %), а в деяких марках – легуючі елементи: хром, вольфрам, молібден та ін.;

- *топкову та котельну* – низьковуглецеву сталь, яку використовують для виготовлення парових котлів і топків. Вона повинна мати певні пластичні властивості в холодному стані, добре зварюватися, не старіти;

- *для залізничного транспорту* – для виготовлення рейок, осей, бандажів залізничних коліс. Це середньо-вуглецева сталь, до якої ставлять високі вимоги, наприклад на втому та на суцільність структури металу;

- *підшипникову* – для виготовлення кулькових та роликових підшипників. До цієї сталі, що містить близько 1% *C* і 1,5% *Cr*, ставлять дуже високі вимоги за вмістом неметалевих включень.

Крім цих є сталі, призначення яких впливає із їх назви: ресорно- пружинні, електротехнічні, трансформаторні, динамні, нержавіючі, гарматні, трубні та ін.

12.4.1 Мартенівський спосіб отримання сталі

Випалювання надлишку вуглецю в чавуні відбувається за рахунок не лише кисню повітря, а й кисню оксидів заліза, які є у складі залізної руди та залізного брухту. Мартенівська піч (рис. 12.3) складається з плавильної ванни, перекритої склепінням з вогнетривкої цегли, і особливих камер- регенераторів для попереднього підігріву повітря та горючого газу.

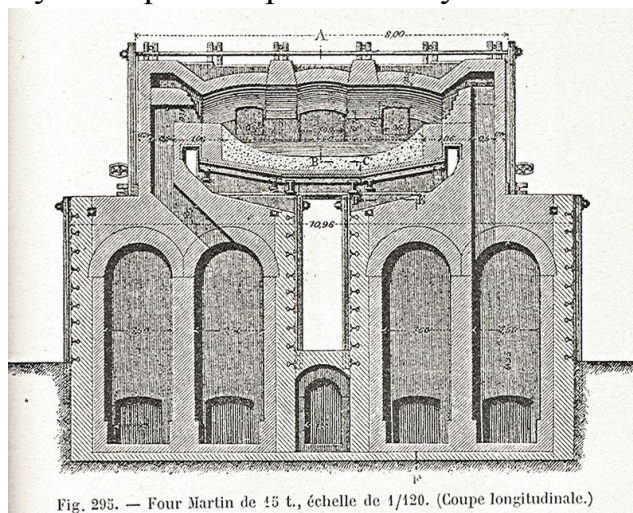
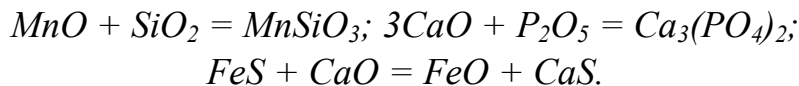


Рисунок 12.3 – Мартенівська піч Сіменса, 1895 р.

Плавильні ванни потужних мартенівських печей мають довжину до 16 м, ширину до 6 м і висоту понад 1 м. Ємність таких ванн досягає 500 тонн сталі. У плавильну ванну завантажують чавун, залізний брухт та залізну руду. Мартенівський процес полягає в розплавленні шихти, зниженні вмісту в ній *C*, *Si*, *Mn*, видаленні небажаних елементів (*S*, *P*) і введенні відсутніх елементів (легуванні). Температура в печі повинна забезпечувати перебування металу в рідкому стані (наприкінці плавки – близько 1600 °C). Як паливо використовують газ (коксовий, доменний, природний), мазут, вугілля. Для інтенсифікації горіння в дуття додають кисень. До шихти додають також вапняк як флюс. Вигоряння вуглецю та домішок чавуну у перший період плавки відбувається головним чином за рахунок надлишку кисню в горючій

суміші за тими ж реакціями, що і в конверторі, а шар шлаку утворюється за рахунок оксидів заліза.

Внаслідок взаємодії основних та кислотних оксидів утворюються силікати і фосфати, які переходять у шлак. Сірка теж переходить у шлак у вигляді сульфіду кальцію:



Мартенівські печі працюють періодично. Після розливки сталі піч знову завантажують шихтою і т. д. Процес переробки чавуну в сталь у мартенах відбувається відносно повільно протягом 6-7 годин. У мартенах можна легко регулювати хімічний склад сталі, додаючи до чавуну залізний брухт та руду в тій чи іншій пропорції. Перед закінченням плавки нагрівання печі припиняють, зливають шлак, а потім додають розкисники.

Продукти мартенівської плавки (%):

- сталь – 83;
- шлак – 10;
- гази, що відходять – 7.

12.4.2 Конверторний спосіб

Конверторний спосіб полягає у тому, що крізь суміш рідкого чавуну та металобрухту (20-30 % маси чавуну), яка міститься у конверторі, продувається повітря, кисень якого окиснює вуглець та домішки. *Киснево-конверторний* спосіб виплавки сталі дозволяє переплавляти металобрухт, дає можливість контролювати якість сталі, не потребує додаткового палива у вигляді природного газу. Процес виплавки триває всього 50 хв.

У процесі хімічних реакцій утворюється така кількість тепла якої цілком досить для перетворення чавуну на сталь протягом 10-13 хвилин. Під впливом дуття домішки чавуну (кремній, марганець, вуглець та ін.) окиснюються, виділяючи значну кількість тепла, внаслідок чого одночасно знижується вміст домішок в металі і підвищується температура, підтримуючи його в рідкому стані. Коли вміст вуглецю досягає необхідного значення (кількість вуглецю визначається за часом від початку продування і за кількістю витраченого кисню), продування припиняють. Застосування кисневого дуття замість повітря дозволяє отримувати сталь з низьким вмістом азоту (0,002-0,006 %).

За однакової якості отримуваної сталі конверторний процес у порівнянні з мартенівським дає економію за капіталовкладеннями на 20- 25 %, зниження собівартості стали на 2- 4 % і збільшення продуктивності праці на 25- 30 %.

Кисневий конвертор, маса якого разом із футеруванням може перевищувати 1000 тонн, знаходиться у зварному корпусі (рис. 12.4), який спирається на підшипники, встановлені на станинах. Конвертор може повертатися на 360°. У верхній частині розміщена лютка для випускання сталі.

Льотка має металеве облицювання і закривається вогнетривкою глиною. Кут нахилу каналу отвору льотки може змінюватися від нуля до 45° й визначається зручністю гарячих ремонтів отвору та траєкторією струменя під час зливання сталі, що потребує точного центрування відносно сталерозливного ковша. Механізм повороту конвертора знаходиться під робочою площадкою і має два або кілька електродвигунів.

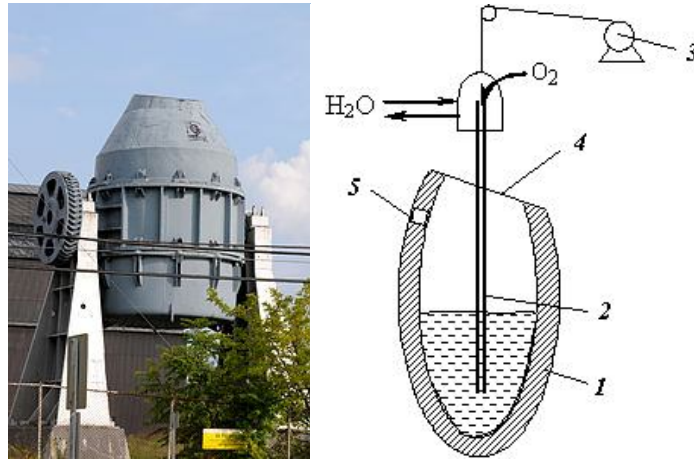


Рисунок 12.4 – Кисневий конвертор:

1 – конвертор; 2 – фурма; 3- лебідка; 4 – горловина; 5 – льотка

Конверторні плавки намагаються проводити з мінімальними простоями між продувками для зменшення остигання обладнання, що сприяє зменшенню температури наступної плавки. На рисунку 12.5 зображені технологічні операції конверторної плавки.

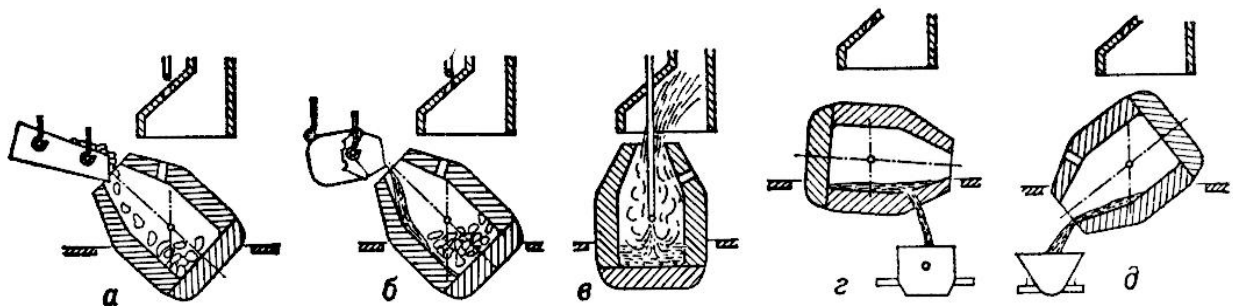


Рисунок 12.5 – Технологічні операції конверторної плавки:

а – завантаження брухту і вапна; б–залівка рідкого чавуну;

в – подача кисню; г – випуск сталі з конвертора

у сталерозливний ківш; д – злив шлаку у шлакову чашу

12.4.3 Електрична плавка

Порівняно з іншими металургійними виробництвами електросталеплавильне екологічно найбільш чисте викид шкідливих речовин. За даними експертів заміна мартенівських печей сучасними електропечами знизить викиди шкідливих речовин майже в 3,5 разів. В електричних печах виплавляють високоякісні конструкційні, інструментальні, корозійностійкі, жаростійкі та інші спеціальні сталі та сплави. Для виплавки сталі

використовують дугові та індукційні електричні печі. Ємність найбільш широко застосовуваних дугових печей становить 0,5-360 тонн. Печі середньої та великої ємності використовують на металургійних заводах для отримання злитків, а печі малої ємності — для отримання сталених злитків на машинобудівних підприємствах. Джерелом тепла в дугових печах є електрична дуга, яка збуджується між графітовими електродами і металеву шихтою. Схема дугової електропечі зображена на рисунку 12.6. Первинна обмотка трансформатора живиться змінним струмом напругою 6-30 кВ, який на вторинній обмотці перетворюється у струм низької напруги від 90 до 280 В. Потужність трансформатора становить до 40 МВА і більше. Шихта складається з сталеного лому, чавуну, флюсів, залізної руди, легуючих домішок та розкиснювачів. Вдування кисню у ванну скорочує час розплавлення шихти та нагріву металу — тривалість плавки зменшується на 30-35 %, а витрати електроенергії на 20-25 % за одночасного покращення якості сталі.

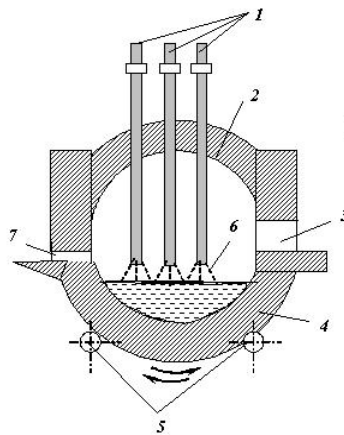


Рисунок 12.6 – Схема дугової електропечі:

*1 – електроди; 2 – склепіння; 3 – завантажувальне вікно;
4 – корпус; 5 – гідравлічний привід для нахилу печі; опора сектора і
сектор для нахилу печі; 6 – електродуга; 7 – лійка для випуску металу*

Електродугова піч складається зі сталеного кожуха, який зсередини футерований вогнетривким матеріалом. У склепінні печі є отвори для трьох електродів (піч використовує трифазний струм). Електроди діаметром більше 550 мм бувають графітові або вугільні. Дно печі — чашоподібне. В стінках печі є завантажувальне вікно і випускний отвір із зливним жолобом. Печі прямої дії (місткістю 360-400 т) мають спеціальний механізм, що дозволяє нахилити піч у бік лійки — для випуску металу, у бік завантажувального вікна — для випуску шлаку.

Індукційна піч — це вогнестійкий тигель, встановлений в індуктор (мідна трубка у вигляді спіралі) (рис. 12.7). Плавка йде за рахунок вихрових струмів, що виникають в індукторі. Ємність печей — від 5 кг до 25 т, продуктивність — близько 40 т на 1000 кВт встановленої потужності, витрата енергії на 10% вище, ніж у дугових печах. Тривалість плавки в індукційних печах мінімальна, доведення плавки після розплавлення шихти не перевищує 30 хв. Серед

сучасних електроплавильних агрегатів індукційні печі займають одне із провідних місць, тому що вони мають ряд суттєвих переваг в нагріванні з іншими плавильними агрегатами.

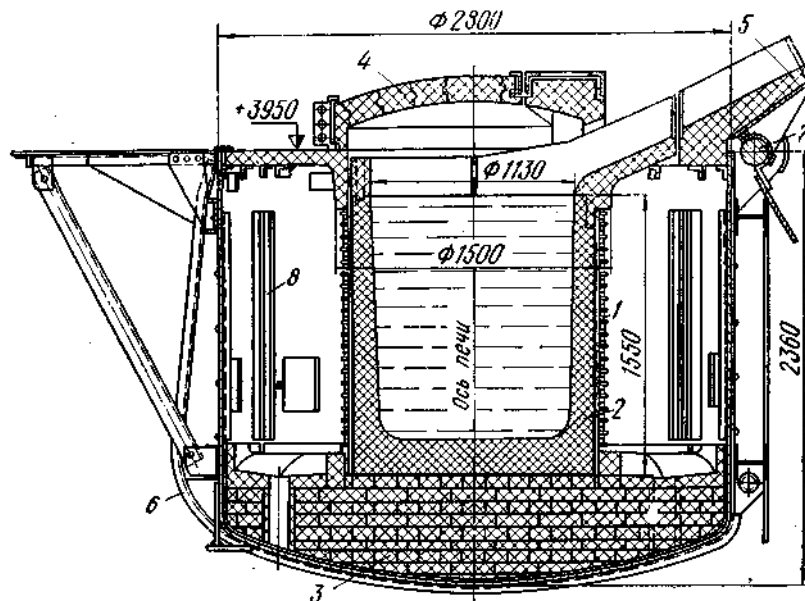


Рисунок 12.7 – Схема індукційної електропечі:
 1 – індуктор; 2 – тигель; 3 – черенева плита; 4 – знімне склепіння;
 5 – зливний носок; 6 – сталевий кожух; 7 – вісь повороту;
 8 – магнітопровід із трансформаторної сталі

Принцип індукційного нагріву полягає у змінні енергії електромагнітного поля, що поглинає електропровідним нагрівальним матеріалом, в теплову енергію. Електромагнітне поле створюють індуктором, який являє собою багатовиткову котушку. Індукційні тигельні печі призначені для плавки чорних і кольорових металів. Вони можуть використовуватися в якості основного агрегату для плавки твердої шихти і в якості вторинного агрегату при дуплекс-процесі. Для плавки твердої шихти можуть застосовуватися індукційні тигельні печі підвищеної та промислової частот, причому в останніх свіжа шихта додається в рідкий метал, що залишився після зливу металу від попередньої плавки. Індукційні тигельні печі промислової частоти серії ІЧТ призначені для плавки й витримки чавуну. Вони повинні експлуатуватися в безперервному режимі, тобто з довантаженням твердої шихти в розплав, що залишається після зливу чергової порції металу.

Запитання для контролю знань

1. Які руди застосовують для отримання чавуну, який їх хімічний склад? Способи збагачення залізняку (залізної руди).
2. Види флюсів, їх хімічний склад, призначення при отриманні чавуну.
3. Перерахуйте види палива, вживаного при виробництві чавуну. Вкажіть теплотворну здатність коксу і природного газу.

4. Вимоги до руд, флюсів і палива при отриманні чавуну.
5. Накресліть схему внутрішнього профілю доменної печі і назвіть її головні зони. Які фізико-хімічні процеси протікають у кожній із зон? Вкажіть корисний об'єм сучасних доменних печей.
6. Назвіть приблизну температуру в різних зонах доменної печі. У яких зонах доменної печі і при яких температурах відбувається процес відновлення заліза з його оксидів? Наведіть хімічні реакції цього процесу.
7. Яким чином і при яких температурах відбуваються насичення заліза вуглецем і отримання чавуну? Процентний вміст вуглецю в чавуні.
8. З якою метою застосовують дуття, збагачене киснем, і підвищений тиск на колошнику?
9. Назвіть продукти доменної плавки і вкажіть галузі їх застосування.
10. Якими показниками характеризується робота доменної печі?
11. Охарактеризуйте способи прямого відновлення заліза з руди. Який з цих способів найбільш перспективний? Назвіть галузі використання губчастого заліза.
12. Накресліть схему пристрою конвертера і поясніть принцип його роботи.
13. Накресліть схему пристрою роботи мартенівської печі і поясніть принцип її роботи.
14. Наведіть технологію виплавки сталей в основній мартенівській печі.
15. Поясніть будову і принцип роботи дугової електричної печі. Наведіть основи технології виплавки в електричній дуговій печі.
16. Будова і принцип роботи індукційної електричної печі. В чому полягає технологія виплавки сталі в цих печах? Галузі застосування сталі, що виплавляється в індукційних печах.

ТЕМА 13 ЛИВАРНЕ ВИРОБНИЦТВО ТА ЙОГО ЗНАЧЕННЯ ДЛЯ НАРОДНОГО ГОСПОДАРСТВА

Виробництво литих виробів відоме з 2 тисячоліття до н.е.: у Китаї, Індії, Вавілоні, Єгипті, Греції, Римі відливали предмети озброєння, релігійного культу мистецтва, домашнього ужитку. У 13-14 століттях Візантія, Венеція, Генуя, Флоренція славилися своїми литими виробами. У російській державі в 14-15 століттях відливалися бронзові і чавунні гармати, ядра і дзвони (на Уралі). У 1479 р. побудована в Москві «гарматна хата» — перший ливарний завод. У царювання Івана IV створені ливарні заводи у Тулі та ін. містах. У 1586 р. А. Чохов відлив «Цар-гармату» (близько 40 т). При Петрі I були створені ливарні заводи на Уралі, Півдні та Півночі держави. У 17 ст. чавунні відливання експортувалися за кордон.

Лише на початку 19 ст. були закладені теоретичні основи ливарної технології, були застосовані наукові методи у вирішенні конкретних виробничих завдань. Труди Д. Бернуллі, Л. Ейлера, М. В. Ломоносова послужили міцною базою для розробки і вдосконалення ливарної технології. У

роботах росіян учених П. П. Аносова, Н. В. Калакуцького і А. С. Лаврова були вперше науково пояснені процеси кристалізації, виникнення ліквідації та внутрішньої напруги у відливках. У 1868 р. Д. Д. Чернов відкрив критичні точки металів. Його праці продовжили А. А. Байков, А. М. Бочвар, пізніше Н. С. Курніков та інші учені. Велике значення для розвитку ливарного виробництва мали роботи Д. І. Менделєєва. Україна має розвинене універсальне ливарне виробництво, коріння якого сягає часів Київської Русі.

До 1991 року в Україні виробляли 5,4 млн. т виливків, що за обсягом відповідало п'ятому місту у світі після Росії, США, Японії, та Китаю, а у перерахунку на душу населення – першому місцю у світі (102 кг на рік). За роки незалежності обсяг литва в Україні скоротився у п'ять разів. Багато ливарних цехів законсервовані, перепрофільовані або працюють не на проектній потужності. Більшість ливарних цехів входять до складу машинобудівних, металургійних та інших заводів. Значна доля у виробництві литва належить самостійним спеціалізованим ливарним підприємствам: Куп'янському та Кіровоградському ливарним заводам, таким як Сумському та Одеському «Центролітам», Краматорському заводу «Енергомашспецсталь», Кременчуцькому сталеливарному заводу. Ливарні підприємства, цехи та ділянки є у всіх 25 областях України.

Ливарний – відносно дешевий спосіб виготовлення деталей. Це пояснюється тим, що ливарним способом можна отримати деталі масою від кількох грамів до сотень тон з товщиною стінки 0,5...5000 мм, із розмірами від кількох міліметрів до десятків метрів, самої складної форми, яку не можна отримати іншими способами із різних сплавів (пластичних або крихких). Ливарним способом можна отримати заготовку максимально наближену по формі до готової деталі, що значно скорочує витрати металу і об'єм механічної обробки. Ливарне виробництво полягає в заповненні ливарної форми розплавленим матеріалом (ливарним металом чи сплавом, пластмасою, деякими гірськими породами) і подальшій обробці отриманих після твердіння виробів.

Суть ливарного виробництва полягає в тому, що *фасоні деталі* (заготовки) одержують заливкою рідкого металу у *ливарну форму*, порожнина якої відповідає їх розмірам та формі. Після кристалізації металу литу деталь (заготовку), що зветься **відливкою**, видаляють із ливарної форми і в разі необхідності піддають механічній обробці.

13.1 Основи виробництва відливок. Ливарні властивості сплавів

Для одержання відливок у машинобудуванні найбільш широко використовуються: сірі, ковкі та високоміцні чавуни; вуглецеві та легировані сталі; сплави кольорових металів на основі алюмінію, міді, титану та ін.

Для одержання якісної відливки ливарні сплави повинні володіти певними технологічними властивостями: рідкотекучість, усадка, ліквідація, газопоглинання.

Рідкотекучість – здатність рідкого металу повністю заповнювати всі щілини порожнин ливарної форми і чітко відтворювати контур відливки.

Усадка – зменшення об'єму металу і лінійних розмірів відливки в процесі її кристалізації і охолодження в твердому стані.

Ліквация – неоднорідність хімічного складу сплаву по перерізу відливки. Розрізняють зональну і дендритну ліквациї. Зональна ліквация створює хімічну неоднорідність в об'ємі всієї відливки, а дендритна – в межах одного зерна.

Газопоглинання – здатність ливарних сплавів в рідкому стані розчиняти кисень, азот і водень, розчинність яких зростає з перегрівом розплаву.

13.1.1 Сировина

Матеріали, вживані для виготовлення разових ливарних форм і стрижнів, діляться на формувальні матеріали суміші; їх маса рівна в середньому 5—6 т на 1 т відливань в рік. При виготовленні формувальної суміші використовують відпрацьовану формувальну суміш, вибиту з опок, свіжі піщано-глинисті або бентонітові матеріали, добавки, поліпшуючі властивості суміші, і воду. У стрижньову суміш зазвичай входять кварцевий пісок, єднальні матеріали (масло, смола та ін.) і добавки. У ливарному виробництві глина використовується як найпоширеніший зв'язуючий матеріал (формувальних піщаних сумішей) для виготовлення ливарних форм. Крім того, у наш час використовують понад 100 різних зв'язуючих, найпоширеніші: рідке скло, синтетичні смоли, ЛСТ, кристалогідрати тощо. Вимоги промисловості до глин, які використовуються у ливарному виробництві, визначені ГОСТ 3226—93.

13.1.2 Способи виготовлення відливок.

Класифікація та характеристика різновидностей ливарних форм

Сучасне ливарне виробництво має в своєму розпорядженні наступні способи виготовлення відливок: у піщано-глинистих формах, у металевих формах, під тиском, за виплавляємими моделями, в оболонкових формах, відцентровим литтям, електрошлаковим литтям, під низьким тиском вакуумним всмоктуванням, рідкою штамповкою тощо. Галузь використання цих способів визначається багатьма факторами: типом виробництва, масою відливок, точністю і чистотою поверхні відливок ливарними властивостями сплавів та ін.

Різновидності ливарних форм для одержання відливок розрізняють за різними ознаками: терміном служби, технологією виготовлення, станом перед заливкою та ін.

Разові форми виготовляють із піщано-глинистих і піщано-смоляних формотворних сумішей, служать вони для одержання тільки однієї відливки. До них належать також нерозбірні форми, виготовлені за виплавляємими моделями. Після заливки разову форму руйнують для звільнення затверділої відливки.

Багаторазові розбірні форми виготовляють із шамоту, азбесту, цементу та інших вогнетривких матеріалів.

Багаторазові форми (*кокілі*) виготовляють металевими: із чавуну, сталі інколи із мідних та алюмінієвих сплавів. Термін служби кокілю залежить від

температури плавлення сплаву. В одному кокілі можна виготовити кілька сотень відливок із сталі, до кількох тисяч відливок із чавуну, і до сотень тисяч із сплавів кольорових металів. Через високу вартість кокілі використовуються тільки у серійному виробництві.

13.1.3 Характеристика способів лиття

Способи одержання відливок різноманітні. Розглянемо деякі з них.

1. *Лиття в кокілі* полягає в тому, що замість разової піщано-глинистої форми використовують металеву форму, що зветься кокілем. Кокілі, маючи майже в 60 разів більш високу теплопровідність, забезпечують дрібнозернисту структуру відливок, що підвищує їх міцність. За конструкцією кокілі розрізняють нерозбірні витряхні та розбірні горизонтальні і вертикальні.

2. Сутність лиття *під тиском* полягає в тому, що рідким металом примусово заповнюють металеву прес-форму під тиском, який підтримується до повної кристалізації відливки. Тиск забезпечує швидке і добре заповнення форми, високу точність і малу шорсткість поверхні відливки.

3. Сутність *відцентрового лиття* полягає в тому, що рідкий метал заливають у ливарну форму, що обертається з певною швидкістю. Ливарна форма обертається протягом всього часу кристалізації металу відливки. При цьому метал відцентровою силою притискується до стінок форми, що забезпечує одержання щільних відливок із підвищеною міцністю в наслідок витіснення шлаку у внутрішню порожнину.

4. Лиття відливок *за виплавляємими моделями* полягає в тому, що за нерозбірною легкоплавкою моделлю виготовляють нерозбірну разову форму. Моделі з цієї форми виплавляють, а порожнину, що утворилася, заливають рідким металом. При цьому одержують відливки настільки точні, що інколи відпадає необхідність механічної обробки і в 1,5...2,0 рази зменшуються витрати металу. Використовують цей спосіб литва для виготовлення відливок дуже складної форми з будь-яких ливарних сплавів.

5. Сутність метода одержання відливок литтям *в оболонкові форми* полягає в тому, що разову ливарну форму виготовляють у вигляді оболонки, використовуючи для формованої суміші в якості матеріалу, що пов'язує, фенольні термореактивні смоли, які міцно цементують кварцовий пісок, як наповнювач. Застосовують цей метод для масового виробництва фасонних дрібних і середніх відливок із різних сплавів.

13.1.4 Технологія ливарного виробництва

Плавлять метал залежно від вигляду сплаву в печах різного типу і продуктивності. Найчастіше ливарний чавун виплавляють у вагранках, застосовують також електричні плавильні печі (тиглі, електродуги, індукційні, каналного типу та ін.). Здобуття деяких сплавів з чорних металів, наприклад

білого чавуну, ведуть послідовно в двох печах, наприклад у вагранці і електропечі (т. з. дуплекс-процес). Заливку форм сплавом здійснюють із заливальних ковшів, в які періодично поступає сплав з плавильного агрегату. Затверділі відливання зазвичай вибивають на вібраційних ґратах або коромислах. При цьому суміш пробуджується через ґрати і поступає у підготовче відділення на переробку, а відливання — в очисне відділення. При очищенні відливань з них видаляють суміш, що пригоріла, відбивають (відрізають) елементи системи ливника і зачищають затоки сплаву і залишки ливників. Крупні відливання очищають гідравлічним способом у спеціальних камерах. Обрубкування і зачистку відливання здійснюють пневматичними зубилами і абразивним інструментом. Відливання з кольорових металів обробляють на металоріжучих верстатах.

13.2 Поняття про обробку металів тиском та його значення в народному господарстві

Обробка металів тиском заснована на використанні однієї з основних властивостей металів – *пластичності*, тобто на їх здатності в певних умовах сприймати під дією зовнішніх сил залишкову деформацію без порушення цілісності матеріалу заготовки. Така обробка застосовується лише до металів достатньо пластичних.

Розрізняють такі основні способи обробки металів тиском: *прокатка, волочіння, пресування, вільна ковка, штампівка об'ємна і листова*.

Обробка металів тиском використовується давно, але її можливості далеко не вичерпані. Обробкою тиском виготовляють із металів напівфабрикати, деталі і вироби різної маси, розмірів і форми.

Процеси обробки металів тиском відрізняються високою *продуктивністю*, економною *витратою* металу порівняно з ливарним виробництвом і механічною обробкою. Крім того, обробка тиском покращує механічні властивості литого металу. Тому обробці металів тиском піддають біля 90 % всієї сталі, що виплавляється, і більше 50 % кольорових металів.

13.2.1 Поняття про пластичну деформацію металів та її вплив на структуру і властивості оброблювального металу

Пластична деформація полягає у *переміщенні* атомів відносно один одного на відстані більше ніж відстані між атомами із одних рівноважних положень в нові. При цьому не порушується суцільність, але змінюється структура і властивості металу.

Найбільшою пластичністю володіють чисті метали. На величину і характер деформації впливають компоненти, що входять до складу сплавів, тому їх пластичність зменшується порівняно з чистими металами. З підвищенням вмісту вуглецю в сталі пластичність зменшується і при вмісті вуглецю більше

1,5 % сталь насилу піддається куванню. Суттєво впливає на пластичність сталі кремній, який знижує її.

Впливає на пластичність металу і температура. Із підвищенням температури нагрівання пластичність металів звичайно зростає, а міцність зменшується. Разом з тим у вуглецевих сталях при температурах 100...400 °C пластичність зменшується, а міцність зростає. Цей інтервал температур називають *зоною крихкості*. Фактором впливу на пластичність металу є також *швидкість деформації* – зміна ступеню деформації ϵ в одиницю часу ($d\epsilon/dt$).

Звичайно механічні властивості металів визначаються при швидкостях деформування до 10 мм/с. Загалом із зростанням швидкості деформації пластичні падає.

Важливо, що в процесі пластичної деформації в металі виникають головні *напруги*, які діють у трьох напрямках і також являються фактором впливу на пластичність металу.

Зміна структури литого металу при деформації. Структура литого металу заготовок неоднорідна. Основу її складають зерна первинної кристалізації (дендрити) різних розмірів і форми, на границях яких утворюються неметалеві включення, а також існують пори і газові бульбашки. Висока ступінь деформації при високій температурі викликає *подрібнення зерен*, а також часткове *заварювання пор*.

У процесі деформації зерна і міжкристалічні прошарки *витягуються* у напрямку найбільшої деформації, цим самим впливаючи на механічні властивості металу (виникнення *анізотронії* властивостей).

13.2.2 Характеристика основних видів обробки металів тиском

1. *Прокатка* – це обтискання металу обертаючими валками. Прокаткою одержують вироби з постійним по довжині поперечним перерізом (прутки, рейки, листи, труби, балки). При прокатці схема головних напруг відповідає об'ємному обтисканню з максимальною напругою у напрямку тиску валків.

2. *Пресування* полягає у *продавлюванні* нагрітого металу, що знаходиться в замкнутому об'ємі, через *отвір* у матриці. Форма і розміри поперечного перерізу видавлюваних прутків відповідає формі і розмірам цього отвору.

3. *Волочіння* представляє собою протягування заготовки через отвір у волочильній матриці (у волоці). Волочінням одержують тонкі сорти дроту, калібровані прутки, тонкостінні труби.

4. *Кування* – процес деформування нагрітої заготовки між бойками молота або преса. Зміна форми і розмірів заготовки досягається послідовним впливом бойків або інструменту на різні ділянки заготовки.

5. *Штампування* (об'ємне) полягає у одночасному деформуванні всієї заготовки у спеціальному інструменті – штампі на молотах, пресах або

горизонтально-кувальних машинах. Форма і розміри внутрішньої порожнини штампа визначають форму і розміри заготовки.

6. *Штампуння* (листо́ве) призначене для одержання плоских і об'ємних пустотілих деталей із листа або смуги за допомогою штампів на холодно-штампувальних машинах.

13.2.3 Температурний інтервал гарячої обробки металу тиском

Для підвищення пластичності і зменшення опору деформуванню метали і сплави перед обробкою тиском нагрівають до певної температури. Для кожного металу існує такий температурний інтервал, в якому забезпечуються оптимальні умови гарячої обробки тиском. Нагрівання металу супроводжується рядом явищ, які необхідно враховувати при виборі температури і режиму нагрівання.

При нагріванні сталі вище 700 °С відбувається інтенсивне *окислення* поверхневого шару з утворенням окалини, що складається із окислів заліза. З підвищенням температури до 1330...1350 °С окалина плавиться і залізо горить з утворенням іскор. При високих температурах поряд з окисленням заліза відбувається *збіднення вуглецем* поверхневого шару сталі в наслідок вигорання вуглецю. Для зменшення окислення металу застосовують електронагрівання, а також нагрівання заготовок у захисній атмосфері.

При високих температурах нагрівання інтенсивно росте зерно. Це явище називається *перегрівом*. Перегріта сталь характеризується більш низькими механічними властивостями – зменшення відносного видовження і ударної в'язкості складає біля 25 %.

Температурний інтервал гарячої обробки тиском. Для максимального підвищення пластичності металу температура початку обробки повинна бути якомога високою, але не викликати перегріву та перепалення. Температурний інтервал гарячої обробки вуглецевих сталей із 0,2...0,7 % вуглецю – 1280...800 °С; із 0,8...1,3 % вуглецю – 1100...760 °С. Мідні сплави обробляють в інтервалі температур 900...700 °С; дюралюміній – 470...400 °С; титанові – 110...900 °С.

Запитання для контролю знань

1. Поясніть суть ливарного виробництва.
2. Сформулюйте технологічні властивості ливарних сплавів.
3. Від чого залежить вибір способу виготовлення відливок?
4. Які печі застосовують для виплавки чавуну?
5. Назвіть способи обробки металів тиском.
6. Поясніть вплив пластичної деформації металів на їх властивості.

ТЕМА 14 ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ І ОРГАНІЗАЦІЇ ВИРОБНИЦТВА МЕТАЛЕВИХ ВИРОБІВ

14.1 Виробництво металовиробів прокаткою

Сортамент прокатних виробів дуже різноманітний: листи, сортовий прокат (профілі круглого, квадратного, шестигранного перерізів, куточок, швелер, тавр, двотавр, балки і т.д.), труби, спеціальний прокат (кільця, бандажі, зубчасті колеса і шестерні, осі і вали, періодичний профіль і т.д.). Сукупність профілів та їх розмірів, а також сплавів, з яких їх виготовляють, називають *сортаментом* (рис. 14.1).



Рисунок 14.1 – Сортамент прокатної сталі

Металопрокат переважно випускають металургійні заводи (комбінати). Однак прокатка металовиробів в останні роки широко застосовується і на машинобудівних і приладобудівних підприємствах, оскільки є прогресивним способом металообробки, що дозволяє забезпечити високу якість продукції, величезну продуктивність і економічну ефективність. У деяких випадках прокатка є єдиним способом виробництва виробів, зокрема, листів, труб, високоміцних сортових профілів. За якістю виробів, що випускаються і продуктивності прокатка не має собі рівних серед інших способів металообробки.

Найважливішою перевагою прокатки є те, що сплаву додають унікальні властивості міцності. Тому не менше 80 % виплавлюваних металів і сплавів прокочується, що дозволяє багатьом підприємствам забезпечити високоякісними заготовками і готовими профілями (рейки, балки, профілі для ресор і пружин, коліс, напильків, зубил, деталей автомобілів, тракторів, сільськогосподарських машин тощо). Для отримання всього сортаменту прокату вихідним матеріалом служать злитки, а також сортовий, листовий і смуговий підкат. Розрізняють прокат гарячекатаний і холоднокатаний. Холодної прокаткою отримують вироби, площі поперечного перерізу яких відносно невеликі (тонкі листи, тонкостінні труби і т.д.). Холодна прокатка відрізняється високою точністю геометричних розмірів отримуваних металовиробів і відповідною якістю формованих поверхонь.

Прокаткою називають процес пластичної формозміни матеріалу силами тертя, що діють на контактній поверхні «деформована заготовка – рухомий інструмент». При прокатці одночасно піддається пластичній деформації не весь обсяг матеріалу, а лише його частина. Це дозволяє обробляти великі маси матеріалу при оптимальних енерговитратах і розмірах обладнання, робити обробку з величезними швидкостями, забезпечувати високу точність одержуваних виробів при мінімальному зносі інструмента.

Розрізняють три основні способи прокатки, що відрізняються напрямком обробки виконання деформації: поздовжня, поперечна і поперечно-поздовжня (гвинтова) (рис. 14.2). Кожен із цих способів можна застосовувати при нагріванні оброблюваних заготовок (гаряча) і без нагріву (холодна прокатка).

Поздовжня прокатка найбільш поширена і, як правило, передує іншим способам. Сутність поздовжньої прокатки полягає в тому, що деформація заготовки здійснюється рухомим інструментом, вектори швидкостей обертання якого на виході з вогнища деформації паралельні осі оброблюваної заготовки. Поздовжньої прокаткою виготовляють листи, сортовий профіль, труби, періодичний прокат і ряд спеціальних видів металовиробів.

Поперечна прокатка характеризується рухом обробного інструменту перпендикулярно осі прокатуваної заготовки (наприклад, обертанням валків в один бік, а круглої заготовки - у протилежну). Обтиснення заготовки і надання їй форми забезпечується відповідною профілізацією валків і зміною міжосьової відстані. До поперечної прокатки відносять поперечноклінову прокатку, деформація заготовки при якій здійснюється поступально або обертально переміщається клиновим інструментом, який впроваджується у вихідну заготовку, викликаючи її обертання. Поперечною прокаткою формують на заготовці поверхні обертання і виготовляють ступінчасті вали й осі.

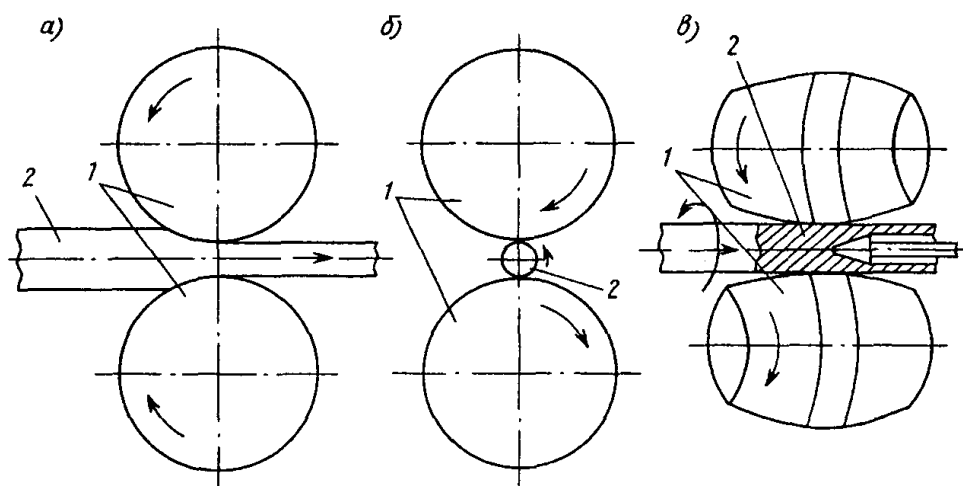


Рисунок 14.2 – Схеми прокатки:

а – поздовжня, б – поперечна; в – поперечно-поздовжня (гвинтова);

1 – валки; 2 – обробляємий виріб

При *поперечно-поздовжній прокатці* деформація заготовки здійснюється обертами в одну сторону валками при обертанні заготовки у протилежний бік і безперервному переміщенні її вздовж своєї осі в напрямку меншої відстані між валками. Переміщення заготовки вздовж своєї осі здійснюється за рахунок контактної тертя або за рахунок зовнішніх сил. Гвинтовою прокаткою виготовляють періодичний прокат, ступінчасті вали й осі, труби.

Нагрівання зливків і заготовок перед прокаткою виконується з метою покращення вихідної структури металів і сплавів, зменшення опору деформації та підвищення технологічної пластичності матеріалу. Прокатка нагрітої заготовки до оптимальної температури (для сталей – 800 – 1250 ° С) забезпечує високу якість прокату, мінімальний витрата енергії, дозволяє застосувати підвищені обтиснення за прохід, скорочує аварійні зупинки обладнання.

До технологічних параметрів прокатки відносять: температуру деформуємої заготовки, обтиснення заготовки, швидкість прокатки (швидкість виходу заготовки з валків може досягати до 100 м/с), діаметр валків і коефіцієнт контактної тертя між інструментом і заготовкою. Певні обмеження накладають фізико-механічні властивості деформуємого матеріалу, особливо при холодній прокатці.

14.2 Технологічна схема виробництва металевих конструкцій

Металеві конструкції поділяють на будівельні і технологічні. Будівельні металоконструкції (колони, ферми, балки) використовують при будівництві цивільних та промислових будівель і споруд. Технологічні металоконструкції (естакади трубопроводів, огороження, резервуари, ємності, бункери тощо) застосовують при встановленні технологічного обладнання, або вони є складовою частиною цього обладнання.

Підприємства по виготовленню металевих конструкцій бувають з одиничним типом виробництва, при якому виготовляють конструкції різних видів та типорозмірів, і серійним виробництвом, при якому одночасно, протягом певного часу, виготовляють конструкції одного типорозміру та виду, а в подальшому можливий перехід на виготовлення другої серії конструкцій.

У залежності від потужності підприємства і номенклатури продукції розробляється технологічна схема виробництва (рис. 14.3).



Рисунок 14.3 – Технологічна схема виробництва металевих конструкцій

Приймання і зберігання металу

Завод-постачальник видає сертифікат на партію сталі, в якому вказує кількість матеріалу по профілям і розмірам; марку сталі; номер плавки; масу та номер партії; хімічний склад; механічні властивості, які передбачені стандартом і умовами заказу.

На сортувальному майданчику метал розпаковують, розкладають по профілям, розмірам, маркам, встановлюють його кількість (за теоретичною масою). Вибірково перевіряють відповідність металу вимогам стандартів і технічним умовам заказу та складають акт на прийом металу. При наявності відхилень від стандартів на метал складають рекламацийний акт.

Після прийомки металу проводять додаткове маркування: білою фарбою проставляють № акта й поновлюють маркування кольоровими фарбами.

Зберігають метал у штабелях висотою не менше 1,5 м із дерев'яними або металічними підкладками висотою 15 см. По висоті штабеля через 0,3-0,5 м прокладають прокладки висотою не менше 12 см, довжиною на 10-20 см більші

за ширину штабеля. Відстань між прокладками повинна бути такою, щоб не було перегину або провисання металу.

Ширина штабеля кутової сталі, двотаврів і швелерів приймається 2-2,5 м із перев'язуванням шарів металу.

Після вирізування деталей залишаються значні за розмірами частини металу, які не використовуються для даного креслення, але необхідні для застосування для інших конструкцій. Такі частини прокату називаються діловими відходами. На них переносять маркування з прокату, повертають на склад і зберігають там.

Правка металопрокату

Метал виправляють такими способами:

- у холодному стані вигинанням (рис. 14.4);
- розтягуванням;
- нагріванням окремих ділянок;
- механічними методами з нагріванням металу.

При вигинанні без нагрівання метал, що треба випрямити, опирають на дві опори та прикладають зусилля з боку, протилежного напрямку первинної деформації. За цією схемою виправляють профілі на правильно-згинальних пресах і гідравлічних пресах вертикальної дії.

При випрямлянні нагріванням окремі ділянки заготовок стають пластичними.

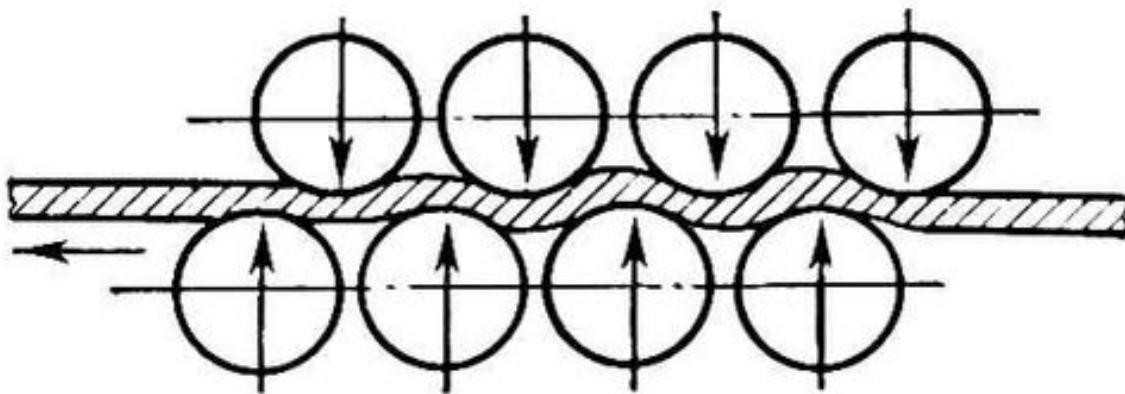


Рисунок 14. 4 – Схема правки листової сталі на правильній машині

Розмітка та намітка

Процес перенесення ліній обробки та центрів з креслень називається розміткою, а з шаблона на метал – наміткою. Розмітка – точніший процес перенесення розмірів на метал. Для його здійснення використовується вимірювальний та розміточний інструмент: стальні рулетки 5, 10, 20 м другого класу точності, лінійки для нанесення прямих ліній, лінійки довжиною 300 – 800 мм для вимірювання, кутовими, штангенциркулі, лекала, кернери, сталеві струни та ін.

Намітка використовується при виготовленні партії деталей або постійної номенклатури виробів. Операція здійснюється за допомогою шаблонів і

різноманітних інструментів. Шаблони із контурами деталей та отворами виготовляються в майстернях. Для шаблонів застосовуються фанера, руберойд, картон, добре висушена деревина.

Обсяги розміточних і наміточних робіт можна зменшити, використовуючи уніфіковані деталі, штамповку, продавлюючи отвори групами.

Різання

Для різання металу застосовують термічний і механічний способи. Термічний спосіб різання застосовує тепло для нагрівання та випалювання металу по лінії відрізу. Різновидами такого способу є кисневе різання, плазменно-дугове, повітряно-дугове, киснево-флюсове, електродугове, лазерне.

Обробка різанням – це процес зрізання ріжучим інструментом із поверхні заготовки шару матеріалу у вигляді стружки для отримання необхідної геометричної форми деталі, точності розмірів, взаєморозташування і шорсткості її поверхонь. *Рухи різання* забезпечують зрізання шару матеріалу в процесі формотворної обробки деталі або зміну стану поверхневого шару заготовки. До рухів різання відносять головний рух і руху подач. Ці рухи можуть бути безперервними або переривчастими, а за характером: обертальними, поступальними, зворотно-поступальними. Головний рух визначає швидкість відділення стружки і називається швидкістю різання. Швидкість різання позначається символом V . Рухи подачі визначають безперервність врізання ріжучого леза інструмента в нові шари матеріалу заготовки. Рухи подачі позначають символом S . При різанні з поверхні заготовки зрізається шар матеріалу товщиною t . *Установчі рухи* забезпечують взаємне положення інструменту і заготовки. Передують рухам різання. *Допоміжні рухи* не пов'язані безпосередньо з процесом зрізання шару матеріалу. Допоміжні рухи: транспортування заготовки, закріплення заготовки та інструменту, швидкі переміщення робочих органів верстата тощо. Методи обробки різанням можна поділити за напрямками:

- за призначенням: формотворні та оздоблювальні;
- за характером різки: лезові та абразивні;
- по виду виконуваної операції: точіння, свердління, шліфування, фрезерування, стругання, протягування тощо.

Формотворні методи призначені для виготовлення деталей заданої форми і заданого рівня показників точності. Оздоблювальні методи призначені для забезпечення заданого рівня якості поверхні та поверхневого шару при збереженні рівня точності, досягнутого при формотворних методах обробки. Лезові методи характеризуються використанням лезового ріжучого інструменту. Лезовим інструментом називають такий, геометрія ріжучої частини і ріжучі властивості якого регламентуються умовами технологічного процесу і можуть бути відтворені при переточуванні інструменту. Лезовий інструмент, застосовуваний для обробки

різанням підрозділяють на однолезвийний (токарний різець) і багатолезовий (фреза). Абразивні методи характеризуються використанням абразивного ріжучого інструменту. Шляхом переточки можуть бути відтворені ріжучі властивості і основні елементи форми. У процесі обробки вихідна заготовка і різальний інструмент отримують робочий рух від механізмів металорізальних верстатів і переміщаються відносно один одного. Для здійснення обробки різанням необхідне поєднання двох видів руху: головного руху різання і руху подачі. Найбільш поширеними способами обробки металів різанням є точіння, свердління, фрезерування, стругання, шліфування (на рис. 14.5 стрілками вказані напрямки головного руху різання і руху подачі). При точінні (рис. 14.5, а) заготовці передається головний рух різання, а інструменту – рух подачі; при свердлінні (рис. 14.5, б) обидва рухи, як правило, передаються свердлу; при фрезеруванні (рис. 14.5, в) головний рух різання здійснює фреза, а рух подачі – заготовка; при струганні на поперечно-стругальних верстатах (рис. 14.5, г) головний рух різання здійснює різець, рух подачі – заготовка, а на поздовжньо-стругальних верстатах навпаки; при шліфуванні (рис. 14.5, д) головний рух різання здійснює шліфувальний круг, Поздовжня подача при плоскому шліфуванні повідомляється зазвичай заготовці, а поперечна – заготовці або шліфувальному кругу.

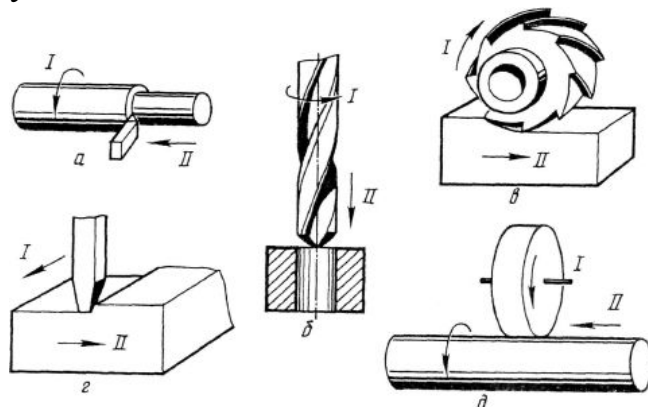


Рисунок 14.5 – Способи обробки металів різанням:

а – точіння; б – свердління; в – фрезерування; г – стругання; д – шліфування

Штамповка

Штамповка буває роз'єднувальна (відрізування, пробивка) та формозмінююча (правка, згинання, витягування, відбортовка). Штампування виробів з металу визнається фахівцями по-справжньому передовим методом випуску різних за призначенням деталей. Воно надає готовим виробам вимагаються розміри і форми за допомогою пластичної деформації. Штампувальні заходи діляться на формозмінюючі (рис. 14.6) та роз'єднувальні. Під формозмінюючими процесами розуміють такі операції, як холодне видавлювання, витяжка, формування. Роз'єднувальне штампування — це процедури, при яких метал (зазвичай листовий) ділиться на задані геометричні частини (рубка, різання, пробивання). Штампування виконується за допомогою

спеціальних механізмів, які називають пресами. Вони здатні за допомогою механічного впливу деформувати вихідну заготовку. Штампування листів металу виконується за різними схемами залежно від оснащення, використовуваної для зміни розмірів і форми матеріалу. З цієї точки зору штампування буває:

- валковим;
- гідро- або магнітно-імпульсним;
- еластичними середовищами;
- вибухом;
- в інструментальних штампах.

Виготовлення штампованих виробів виконується за двома технологіями — холодною та гарячою.

Гаряче об'ємне штампування для масового виготовлення виробів

Під таким процесом розуміють методику обробки металевих заготовок тиском. Сировиною для операції виступає прокат — періодичний, прямокутного, квадратного або круглого профілів. Його перед обробкою ріжуть на заготовки певних розмірів. У деяких випадках поковка відділяється від прокату безпосередньо на агрегаті для штампування.

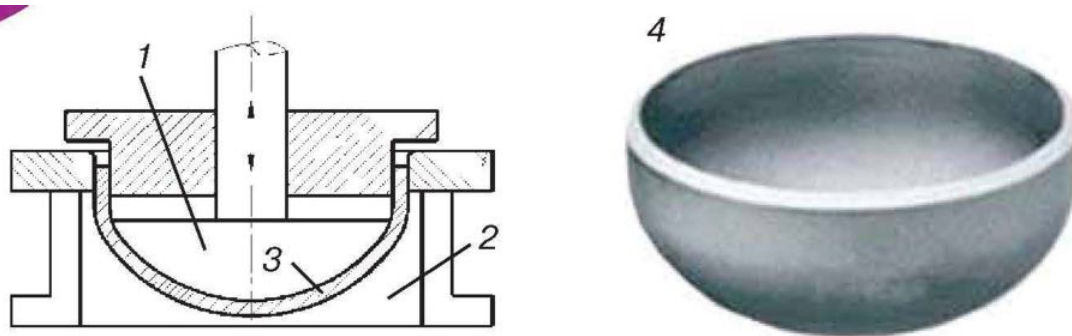


Рисунок 14.6 – Виготовлення дна штампуванням:

1 – матриця; 2 – пуасон; 3 – листовий метал; 4 – готовий виріб

Оброблення металевих заготовок тиском

Обов'язковим атрибутом гарячої об'ємної операції є штамп — спеціальний інструмент із виступами і порожнинами. При заливанні метал заповнює ці «нерівності». На фінальному етапі штампування по конфігурації поковки утворюється замкнута єдина порожнина. Штампи можуть бути закритими і відкритими. Об'ємне гаряче штампування рекомендується проводити при масовому і великосерійному виробництві деталей. Дана технологія дозволяє отримувати складні вироби (за формою). Також вона характеризується такими перевагами:

- відмінна якість поверхні одержуваних деталей;
- висока продуктивність робочого процесу;
- бездоганна точність форми штампованих деталей;
- малий обсяг відходів металу.

Об'ємне гаряче штампування

Гаряче листове штампування застосовується тоді, коли металеві вироби виробляються з листів 3-4 мм товщиною. Початкова заготовка при цьому нагрівається в спеціальних електричних або полум'яних пристроях-печах.

Холодне листове штампування

Дана операція має ряд переваг:

- економічна доцільність використання ХЛШ (холодного листового штампування) і при виробництві виробів дрібними партіями, і тоді, коли здійснюється масове виготовлення деталей;
- можливість випуску продукції з високою жорсткістю і показником міцності при мінімальній її вазі;
- простота автоматизації та якісної механізації штампувальних операцій — один агрегат за 8-12 годин здатний «видати» до 35-40 тисяч готових виробів;
- висока якість одержуваних поверхонь і відмінна точність параметрів деталей — оздоблювальні процедури за рахунок цього скорочуються до мінімуму;
- економія витрати металу;
- можливість виготовлення дрібних і великих за розмірами деталей.

Пробивка та свердління отворів

Пробивка отворів рекомендується для мало вуглецевих сталей класу С24 товщиною до 25 мм, класу С35 товщиною до 20 мм. Отвори пробиваються на універсальних штампочних і спеціальних пресах.

Свердління – не такий продуктивний, але точніший процес, який забезпечує відсутність зон наклепу та мікротріщин.

Складання конструкцій

При складанні виробів застосовують роз'ємні та нероз'ємні з'єднання. Роз'ємні з'єднання допускають розбирання без пошкодження деталей, що сполучаються. До них відносять: різьбові, клинові, штифтові, шліцьові, шпонкові та профільні з'єднання, а також з'єднання за допомогою пружних елементів (стопорних кілець).

Різьбові з'єднання (рис. 14.7) досить поширені у машинобудуванні. Їх виконують, застосовуючи кріпильні деталі (болти, гвинти, шурупи, гайки, різьбові шпильки); іноді різьблення виконують безпосередньо на самій деталі.

Болтові і гвинтові з'єднання як найбільш прості особливо часто застосовуються при масовому і великосерійному виробництві, що дозволяє використовувати сучасні засоби механізації та автоматизації.

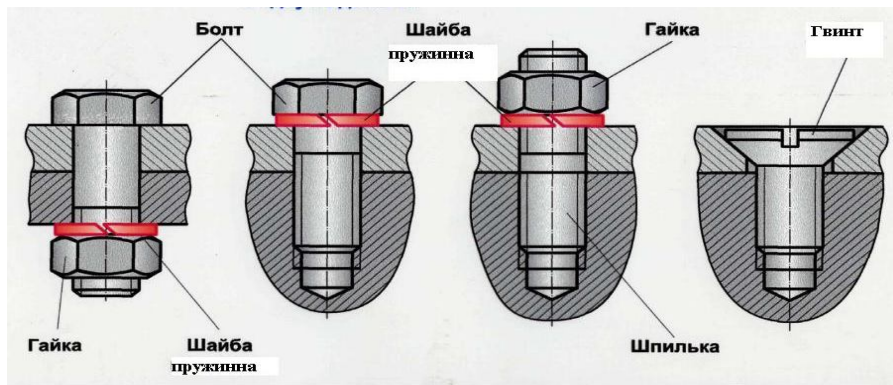


Рисунок 14. 7 – Основні типи різьбових з'єднань:

а – кріплення деталей болтом і гайкою; б – кріплення деталей загвинчуванням болта в одну з деталей; в – кріплення деталей шпилькою і гайкою; г – кріплення деталей гвинтом

Штифтові з'єднання (рис. 14.9) застосовують для точної фіксації деталей, що сполучаються між собою, а іноді і для передачі сил, що зсувають перпендикулярно їх осі. Шпонкові (рис. 14.8) і шліцьові з'єднання використовують для передачі крутного моменту, наприклад від електродвигуна до вхідного валу редуктора. Шліцьові з'єднання доцільно застосовувати в масовому виробництві, вони більш надійні і з їх допомогою можна передавати великі крутний момент. Проте їх виготовлення вимагає спеціального інструменту та обладнання. Профільні сполуки забезпечують гарне центрування деталей, що не мають гострих кутів і різких переходів перерізу, що бажано при термообробці.

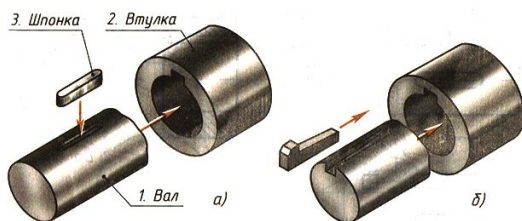


Рисунок 14.8 – Шпонкове з'єднання

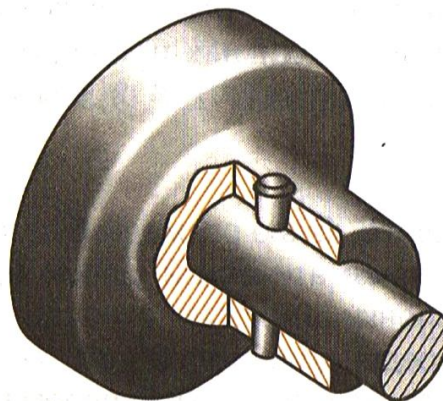


Рисунок 14.9 – Штифтове з'єднання

До нероз'ємних з'єднань відносять з'єднання, отримані зварюванням, паянням, клепою, пресуванням, розвальцьовуванням, відбортовкою, склеюванням. Для отримання міцних, герметичних і мають невеликі габарити з'єднань часто доцільно застосовувати такі види нероз'ємних з'єднань, як пайка і зварювання (рис. 14.10). Пайка отримала широке поширення у радіоелектронній промисловості, при складанні трубопроводів з кольорових металів і сплавів, при з'єднанні твердосплавних, керамічних і алмазних елементів інструменту тощо. Зварювання найбільш часто використовується в

автобудуванні (електроконтактна і електродугова), при виробництві металоконструкцій у будівництві та металовиробів побутового призначення, у машинобудуванні. Електрозварювання незамінне при виготовленні габаритних металоконструкцій (станини обладнання, ємності для зберігання газу і рідини, трубопроводи, мости тощо).

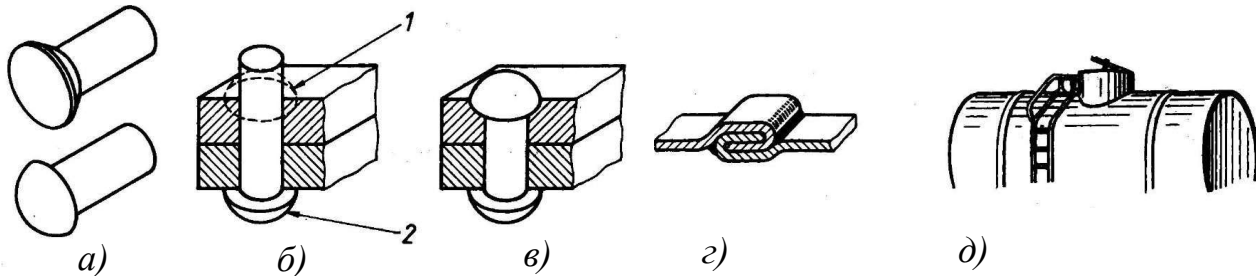


Рисунок 14.10 – Види з'єднань:

а, б, в – клепочне з'єднання; г – паяне з'єднання; д – зварне з'єднання

Усі сталі конструкції перед відправкою споживачу повинні бути зачищені від корозії на період транспортування, зберігання та монтажу шляхом нанесення ґрунтовки пневматичним розпилюванням, струйним обливом або пензлем.

14.3 Технологія виготовлення алюмінієвих конструкцій

В сучасних умовах на всіх без виключення об'єктах промислового і цивільного будівництва широко використовуються вироби із алюмінієвих профілів.

Як правило, заводи будіндустрії, що займаються випуском алюмінієвих профілів і виробів з них мають замкнутий цикл виробництва, заснований на широкому використанні безвідходних технологій.

Загальний цикл виготовлення алюмінієвих виробів складається, зазвичай, з п'яти виробництв:

- ливарне виробництво;
- пресове виробництво;
- відділення гальванозахисних покриттів;
- механо-збиральне виробництво;
- інструментальне виробництво.

Ливарне виробництво

Наявність власного ливарного виробництва забезпечує необхідну гнучкість при використанні вихідної сировини.

Профілі, що використовуються для виготовлення будівельних конструкцій повинні мати цілий ряд різноманітних властивостей: механічних – для забезпечення міцності конструкцій, хімічних для нанесення захисних покриттів, тощо. Для забезпечення цих властивостей профілі виготовляються зі сплавів. Наявність необхідних домішок у сплавах забезпечується ливарним виробництвом і контролюється центральною заводською лабораторією.

Ця технологія дозволяє використовувати сировину з різним початковим складом домішок, що складає основу безвідходності – відходи, що неминуче виникають при обробці профілів, використовуються повторно, так як і алюмінієвий брухт або первинний алюміній.

Ливарне виробництво повністю забезпечує потреби заводу у зливках з алюмінієвих сплавів різного діаметру, що необхідні для роботи пресового виробництва.

Пресове виробництво

Пресове виробництво є наступною ланкою в технологічному циклі підприємства. Зливки, що проступають з ливарного виробництва, розпилюються на заготовки і, після попереднього розігріву, пресуються. Відпресовані профілі витягуються, це знімає остаточне напруження в металі, що виникає під час пресування. Потім профілі розпилюються на заготовки стандартної довжини і піддаються гомогенізації (розігріву, якій змінює властивості металу, уповільнює його старіння). Це покращує механічні властивості профілів.

Пресування здійснюється на горизонтальних гідравлічних пресах з різними показниками робочих зусиль, що дає можливість виробляти різні види алюмінієвих профілів від звичайного дроту до складних профілів з багато порожнинними перетинами.

Відділення гальванічних покриттів

Конструкції, що виготовлені з алюмінієвих профілів та змонтовані на будівельних об'єктах, з плином часу піддаються впливу зовнішнього середовища і, у тому числі, хімічно активних речовин, які можуть викликати корозію. Щоби попередити це, профілі піддаються електрохімічній обробці – анодному оксидуванню, мета якого – збільшити товщину оксидної плівки, що покриває алюміній.

Для реалізації цього технологічного процесу служить відділення гальванічних покриттів. При додаванні спеціальних реактивів до гальванічного розчину покриття може змінювати колір. Це явище використовується при обробці профілів – під дією таких розчинів вони можуть набувати колір золотіння, старої бронзи, тощо. Профілі з нанесеним прозорим покриттям можуть бути пофарбовані порошковими емалями у різні кольори.

Механіко-збиральне виробництво

Заключним етапом технологічного циклу виготовлення алюмінієвих конструкцій є механо-збиральне виробництво. Для виготовлення «теплых» серій конструкцій на йому здійснюють збирання комбінованих профілів: між алюмінієвими складовими комбінованого профілю запресовують вставки зі склонаповненого поліаміду, які розділяють зовнішню і внутрішню сторони конструкції. Цім досягається зниження теплопровідності конструкцій і,

відповідно, підвищення коефіцієнту опору теплопередачі. Для виготовлення «холодних» серій конструкцій, що монтуються, як правило в середині приміщень, використовують системи звичайних закритих профілів без термовставок.

Типові елементи конструкцій (вікна, двері, тощо) і готові елементи невеликих розмірів збирають безпосередньо на заводі, на них встановлюється фурнітура. Для збирання крупно габаритних конструкцій, що монтуються на будівельних об'єктах, механо-збиральне виробництво забезпечує розрізання стандартних заготовок профілів на елементи для наступного збирання.

Інструментальне виробництво

Для забезпечення технологічної незалежності заводів алюмінієвих конструкцій на них, як правило, організують інструментальне виробництво. Виготовлення власного інструменту – матриць для пресування профілів дозволяє створювати і випробовувати власні системи конструкційних профілів, пресувати типові профілі загального призначення різних перетинів і розмірів, виготовлювати матриці для пресування профілів створених за кресленнями замовників. Окрім матриць, інструментальне виробництво, як правило, виготовлює різноманітні штампи, кондуктори, і прес-форми для литва.

Запитання для контролю знань

1. Приведіть можливу номенклатуру металоконструкцій.
2. Які типи виробництва застосовують на заводах металоконструкцій?
3. Приведіть склад типового підприємства.
4. Назвіть основні технологічні операції при виготовленні металевих конструкцій.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гапонова О. П. Сталі та сплави з особливими властивостями : Навч. посібник / О. П. Гапонова, А. Ф. Будник. — Суми : СумДУ, 2014. — 240 с. — ISBN 978-966-657-507-7.
2. Дубовий О. М. Інженерне матеріалознавство : підручник / О. М. Дубовий, Ю. О. Казимиренко, Н. Ю. Лебедева та ін. — Миколаїв : НУК, 2009. — 444 с.
3. Пахаренко В. Л. Матеріалознавство та технологія конструкційних матеріалів (металургія, ливарне виробництво) : навч. посібник / В. Л. Пахаренко, М. М. Марчук. — Рівне, 2009. — 182 с.
4. Попович В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство / В. Попович, В. Голубець. — Суми : ВТД «Університетська книга», 2002. — 260 с. — ISBN 5-7763-0782-1.
5. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Практикум: [навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. за напрямом Інженерна механіка] / В. В. Попович, А. І. Кондир, Е. І. Плешаков та ін. — Львів : Світ, 2009. — 551 с. — ISBN 978-966-603-401-7.
6. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство: словник-довідник / В. Попович, В. Попович. — Львів : Світ, 2010. — 304 с.
7. Хільчевський В. В. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів : Навч. посібник / В. В. Хільчевський. — Київ : Либідь, 2002. — 328 с. — ISBN 966-06-0247-2.
8. Шрейбер Г. К. Конструкционные материалы в нефтяной, нефтехимической и газовой промышленности : Справочное руководство / Г. К. Шрейбер, С. М. Перлин, Б. Ф. Шибряев. — Москва : Машиностроение, 1969. — 396 с.

Навчальне видання

ШАПОВАЛ Світлана Володимирівна

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

з курсу

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

*((для студентів 2 курсу денної форми навчання освітнього рівня «бакалавр»
спеціальності 185 – Нафтогазова інженерія та технології*

Відповідальний за випуск *О. В. Кондращенко*

За авторською редакцією

Комп'ютерне верстання *К. А. Алексанян*

План 2016, поз. 241 Л

Підп. до друку 16.05.2016. Формат 60 × 84/16

Друк на різнографі. Ум. друк. арк. 6,93

Тираж 50 пр. Зам. №

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,

вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002

Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 5328 від 11.04.2017.